

RUÍDOS DE FONTES PATOLÓGICAS EM SISTEMAS DE METRO LIGEIRO

JOÃO MIGUEL DE ALBUQUERQUE MORAIS D'ALMEIDA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Rui Manuel Gonçalves Calejo Rodrigues

JANEIRO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Ao meu Pai, às minhas Filhas, à minha *Mahal*.

The final question will be: is the soundscape of the world an indeterminate composition over which we have no control, or are we its composers and performers, responsible for giving it form and beauty?

R. Murray Schafer

AGRADECIMENTOS

Ao Eng.º Rui Calejo Rodrigues, pela orientação, inspiração, motivação e partilha de um vasto conhecimento e experiência. Esta partilha, levou a que por vezes as reuniões de coordenação extravasassem os limites do tema desta dissertação, para se tornarem pontuais lições de acústica, que guardarei comigo.

Os meus agradecimentos à Metro do Porto, nas pessoas do Professor Jorge Delgado, Dr. Azeredo Lopes, Eng.^a Ana Paula Gonçalves, Eng.º Luís Meireles, Eng.º João Does, Eng.º Armando Sena, Sr. Carlos Neves, Eng.º Mikko Ojapelto e a todos os que de uma forma ou de outra me cederam do seu tempo e amizade para me dar bases para criar uma dissertação consubstanciada.

Ao NI&DEA, pelo apoio e colaboração, em particular à Eng.^a Carolina Ferreira na elaboração dos mapas de ruído.

À minha *mahal*, à família e aos amigos, agradeço o encorajamento e apoio permanente.

RESUMO

No sentido de controlar o impacto da acção do Homem no Ambiente Acústico, importa inventariar a multitude de ruídos nele contido. A legislação e normas existentes incidem num reduzido número de tipos de ruído e tem uma abordagem pouco diferenciada relativamente às características dos mesmos, como por exemplo em termos de intensidade e do espectro tonal.

O presente estudo tem como finalidade dar um passo em frente na inventariação e caracterização acústica de vários tipos de ruído de um campo sonoro.

Em particular, abordou-se o que se convencionou designar por “fontes patológicas” ou seja aquelas fontes que não são previsivelmente associadas a um dado campo sonoro. Abordam-se as fontes patológicas associadas à circulação de um sistema de metro ligeiro de superfície.

Como caso de estudo, fez-se neste trabalho a inventariação de tipos de ruídos consequentes da operação do Metro do Porto, e caracterizaram-se acusticamente 5 diferentes tipos de ruídos de fonte patológica em 6 diferentes locais, através de uma campanha de medições de níveis sonoros com auxílio de um sonómetro.

Estimaram-se ainda os impactos destes ruídos na envolvente, através da elaboração de mapas de ruído com recurso ao software Cadna A.

PALAVRAS-CHAVE: Acústica, Ruído, Fontes Patológicas, Metro.

ABSTRACT

In order to control the impact of human action on the Acoustic Environment, it is important to inventory the multitude of noises it contains. Existing legislation and standards focus on a small number of noise types and have a poorly differentiated approach to their characteristics, such as in terms of intensity and tone spectrum.

The present study aims to take a step forward in the inventory and acoustic characterization of several types of noise in a sound field.

In particular, the study addresses what is designated as “pathological sources”, in other words, sources which are not predictably associated with a given sound field. It covers the pathological sources associated with the circulation of a Light Rail Transit.

As a case study, this work focused on the inventory of types of noise resulting from the operation of the tram of the city of Porto (Metro do Porto), and acoustically characterized 5 different types of noise from a pathological source in 6 different locations, through a campaign of measurements of levels using a sound level meter.

The impacts of these noises in the surroundings were also estimated through the mapping of noise using the software *Cadna A*.

KEYWORDS: Acoustics, Noise, Pathological Source, Tram

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. INTRODUÇÃO	1
1.2. PROBLEMÁTICA	1
1.3. OBJECTIVO	2
1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3
1.5. ÂMBITO	3
 2. ESTADO DA ARTE	 5
2.1. CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE ACÚSTICA DE EXTERIOR	5
2.2. ESTADO DA ARTE	6
2.2.1. LEGISLAÇÃO, NORMAS E DIRECTIVAS EUROPEIAS	6
2.2.2. MEDIÇÃO DE RUÍDO EXTERIOR E RUÍDO FERROVIÁRIO	6
2.2.3. PREVISÃO DE RUÍDO EXTERIOR E RUÍDO FERROVIÁRIO	8
2.2.4. RUÍDO “CURVE SQUEAL”	8
2.2.5. RUÍDO DESGASTE ANORMAL DO CARRIL (CORRUGAÇÃO)	9
2.2.6. RUÍDO RADIADO EM PONTES DE ESTRUTURA METÁLICA	9
2.2.7. RUÍDO EM SAÍDA DE TÚNEL (TUNNEL BOOM)	10
 3. CASO DE ESTUDO - SISTEMA DE METRO LIGEIRO DA ÁREA METROPOLITANA DO PORTO	 11
3.1. A REDE DO METRO DO PORTO	11
3.2. MATERIAL CIRCULANTE	13
3.2.1. EUROTRAM	13
3.2.2. TRAM TRAIN	13
3.2.3. COMPOSIÇÕES	14

4. RUÍDOS DE FONTES PATOLÓGICAS	15
4.1. IDENTIFICAÇÃO DE TIPOS DE RUÍDO DE OPERAÇÃO DO METRO DO PORTO	15
4.1.1. Consulta de Bibliografia Científica	15
4.1.2. Reunião com Colaboradores da Metro do Porto, S.A.	16
4.1.3. Análise de mapas satélite e visita ao terreno	17
4.2. SELECÇÃO DE TIPOS DE RUÍDO A CARACTERIZAR	17
4.3. DESCRIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE RUÍDOS SELECIONADOS	18
4.3.1. <i>CURVE SQUEAL</i> (CHIADO EM CURVA)	18
4.3.2. CORRUGAÇÃO DO CARRIL	20
4.3.3. RUÍDO DE IMPACTO – DEFEITO NA JUNTA DE SOLDADURA DO CARRIL	22
4.3.4. ANÚNCIOS INFORMATIVOS NAS ESTAÇÕES	22
4.3.5. CAMPAINHA EM ATRAVESSAMENTOS RODO-FERROVIÁRIOS DE NÍVEL	22
4.4. RUÍDO AMBIENTE	24
5. MEDIÇÃO DOS RUÍDOS DE FONTES PATOLÓGICAS	25
5.1. O QUE MEDIR	25
5.1.1. MEDIÇÃO DE RUÍDO AMBIENTE	25
5.1.2. MEDIÇÃO DE RUÍDOS DE FONTE PATOLÓGICA	26
5.2. COMO MEDIR	26
5.2.1. EQUIPAMENTO	26
5.2.2. IN SITU	27
5.2.3. CRITÉRIOS PARA REJEIÇÃO DE MEDIÇÕES	27
5.3. PONTO 1 – RUÍDO <i>CURVE SQUEAL</i>	28
5.4. PONTO 2 – RUÍDO <i>CURVE SQUEAL</i>	29
5.5. PONTO 3 – ANÚNCIOS INFORMATIVOS NAS ESTAÇÕES	30
5.6. PONTO 4 – DEFEITO NA JUNTA DE SOLDADURA DO CARRIL	31
5.7. PONTO 5 – CAMPAINHA EM ATRAVESSAMENTOS DE NÍVEL	32
5.8. PONTO 6 – CORRUGAÇÃO DO CARRIL	33
6. RESULTADOS E ANÁLISE	35
6.1. INTRODUÇÃO	35
6.2. PONTO 1 – RUÍDO <i>CURVE SQUEAL</i>	36
6.2.1. RUÍDO AMBIENTE	36

6.2.2. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA NA VIA 1	39
6.2.3. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA NA VIA 2	42
6.2.4. MAPAS DE RUÍDO	45
6.3. PONTO 2 – RUÍDO CURVE SQUEAL	49
6.3.1. RUÍDO AMBIENTE	49
6.3.2. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA NA VIA 1	53
6.3.3. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA NA VIA 2	56
6.3.4. MAPAS DE RUÍDO	59
6.4. PONTO 3 – ANÚNCIOS INFORMATIVOS NAS ESTAÇÕES	63
6.4.1. RUÍDO AMBIENTE	63
6.4.2. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA	67
6.4.3. MAPAS DE RUÍDO	70
6.5. PONTO 4 – DEFEITO NA JUNTA DE SOLDADURA DO CARRIL	72
6.5.1. RUÍDO AMBIENTE	72
6.5.2. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA NA VIA 1	76
6.5.3. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA NA VIA 2	79
6.5.4. MAPAS DE RUÍDO	82
6.6. PONTO 5 – CAMPAINHA EM ATRAVESSAMENTOS DE NÍVEL	86
6.6.1. RUÍDO AMBIENTE	86
6.6.2. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA	90
6.6.3. MAPAS DE RUÍDO	93
6.7. PONTO 6 – CORRUGAÇÃO DO CARRIL	95
6.7.1. RUÍDO AMBIENTE	95
6.7.2. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA NA VIA 1	100
6.7.3. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA NA VIA 2	103
6.7.4. MAPAS DE RUÍDO	106
 7. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	 111
7.1. CONCLUSÕES	111
7.1.1. RUÍDO AMBIENTE	111
7.1.2. RUÍDO CURVE SQUEAL	111
7.1.3. ANÚNCIOS INFORMATIVOS NAS ESTAÇÕES	112
7.1.4. RUÍDO DE IMPACTO – DEFEITO NA JUNTA DE SOLDADURA DO CARRIL	113

7.1.5. CAMPAINHA EM ATRAVESSAMENTOS RODO-FERROVIÁRIOS DE NÍVEL	113
7.1.6. CORRUGAÇÃO DO CARRIL.....	113
7.1.7. GRÁFICO RESUMO.....	114
7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	115

ANEXO 1

RELATÓRIOS DE MEDIÇÕES

ANEXO 2

MAPAS DE RUÍDO

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.3.1 – Esquema da Rede do Metro do Porto no final de 2016.....	12
Fig.3.2 – Alçado do Eurotram.....	13
Fig.3.3 – Alçado do Tram Train.....	13
Fig.3.4 – Composição dupla de veículos Eurotram.....	14
Fig.4.1 – Carril corrugado (Sra. Hora-Fonte do Cuco).....	21
Fig.5.1 – Tempo de emergência e Nível sonoro de emergência	26
Fig.5.2 – Sonómetro utilizado na campanha de medições	27
Fig.5.3 – Ponto 1, Postos de medição	28
Fig.5.4 – Ponto 2, Postos de medição	29
Fig.5.5 – Ponto 3, Posto de medição	30
Fig.5.6 – Ponto 4, Postos de medição	31
Fig.5.7 – Ponto 5, Posto de medição	32
Fig.5.8 – Ponto 6, Postos de medição	33
Fig.5.9 – Ponto 6, Posto 1 de medição	34
Fig.6.1 – Parâmetros estatísticos, P1, RA	36
Fig.6.2 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P1, RA.....	38
Fig.6.3 – Parâmetros estatísticos, P1, RFP, V1.....	39
Fig.6.4 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P1, RFP, V1	41
Fig.6.5 – Parâmetros estatísticos, P1, RFP, V2.....	42
Fig.6.6 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P1, RFP, V2	44
Fig.6.7 – Mapa de Ruído P1.RA	46
Fig.6.8 – Mapa de Ruído P1.RA.M	46
Fig.6.9 – Mapa de Ruído P1.RA.M.FPV1	47
Fig.6.10 – Mapa de Ruído P1.RA.M.FPV2	47
Fig.6.11 – Mapa P1 Dif.FPV1 - Agravamento devido a Fonte Patológica na Via 1.....	48
Fig.6.12 – Mapa P1 Dif.FPV2 - Agravamento devido a Fonte Patológica na Via 2.....	48
Fig.6.13 – Parâmetros estatísticos, P2, RA	49
Fig.6.14 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P2, RA.....	51
Fig.6.15 – Evolução do LAeq em função do tempo de medição, P2, RA.....	52
Fig.6.16 – Parâmetros estatísticos, P2, RFP, V1.....	53
Fig.6.17 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P2, RFP, V1	55

Fig.6.18 – Parâmetros estatísticos, P2, RFP, V2.....	56
Fig.6.19 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P2, RFP, V2	58
Fig.6.20 – Mapa de Ruído P2.RA	60
Fig.6.21 – Mapa de Ruído P2.RA.M	60
Fig.6.22 – Mapa de Ruído P2.RA.M.FPV1	61
Fig.6.23 – Mapa de Ruído P2.RA.M.FPV2	61
Fig.6.24 – Mapa P2 Dif.FPV1 - Agravamento devido a Fonte Patológica na Via 1.....	62
Fig.6.25 – Mapa P2 Dif.FPV2 - Agravamento devido a Fonte Patológica na Via 2.....	62
Fig.6.26 – Parâmetros estatísticos, P3, RA	63
Fig.6.27 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P3, RA.....	65
Fig.6.28 – Evolução do LAeq em função do tempo de medição, P3, RA	66
Fig.6.29 – Parâmetros estatísticos, P3, RFP	67
Fig.6.30 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P3, RFP.....	69
Fig.6.31 – Mapa de Ruído P3.RA	70
Fig.6.32 – Mapa de Ruído P3.RA.FP.....	71
Fig.6.33 – Mapa P3 Dif.FP - Agravamento devido a Fonte Patológica	71
Fig.6.34 – Parâmetros estatísticos, P4, RA	72
Fig.6.35 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P4, RA.....	74
Fig.6.36 – Evolução do LAeq em função do tempo de medição, P4, RA	75
Fig.6.37 – Parâmetros estatísticos, P4, RFP, V1.....	76
Fig.6.38 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P4, RFP, V1	78
Fig.6.39 – Parâmetros estatísticos, P4, RFP, V2.....	79
Fig.6.40 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P4, RFP, V2	81
Fig.6.41 – Mapa de Ruído P4.RA	83
Fig.6.42 – Mapa de Ruído P4.RA.M	83
Fig.6.43 – Mapa de Ruído P4.RA.M.FPV1	84
Fig.6.44 – Mapa de Ruído P4.RA.M.FPV2	84
Fig.6.45 – Mapa P4 Dif.FPV1 - Agravamento devido a Fonte Patológica na Via 1.....	85
Fig.6.46 – Mapa P4 Dif.FPV2 - Agravamento devido a Fonte Patológica na Via 2.....	85
Fig.6.47 – Parâmetros estatísticos, P5, RA	86
Fig.6.48 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P5, RA.....	88
Fig.6.49 – Evolução do LAeq em função do tempo de medição, P5, RA	89
Fig.6.50 – Parâmetros estatísticos, P5, RFP	90

Fig.6.51 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P5, RFP	92
Fig.6.52 – Mapa de Ruído P5.RA	93
Fig.6.53 – Mapa de Ruído P5.RA.FP	94
Fig.6.54 – Mapa P5 Dif.FP - Agravamento devido a Fonte Patológica	94
Fig.6.55 – Parâmetros estatísticos, P6, RA	96
Fig.6.56 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P6, RA	98
Fig.6.57 – Evolução do LAeq em função do tempo de medição, P6, RA	99
Fig.6.58 – Parâmetros estatísticos, P6, RFP, V1	100
Fig.6.59 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P6, RFP, V1	102
Fig.6.60 – Parâmetros estatísticos, P6, RFP, V2	103
Fig.6.61 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P6, RFP, V2	105
Fig.6.62 – Mapa de Ruído P6.RA	107
Fig.6.63 – Mapa de Ruído P6.RA.M	107
Fig.6.64 – Mapa de Ruído P6.RA.M.FPV1	108
Fig.6.65 – Mapa de Ruído P6.RA.M.FPV2	108
Fig.6.66 – Mapa P6 Dif.FPV1 - Agravamento devido a Fonte Patológica na Via 1	109
Fig.6.67 – Mapa P6 Dif.FPV2 - Agravamento devido a Fonte Patológica na Via 2	109
Fig.7.1 – LA _{emerg} e LA _{máx} de Fontes Patológicas e LA _{eq} de Ruído Ambiente	114

ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

Quadro 2.1 – Referências bibliográficas	6
Quadro 2.2 – Referências bibliográficas	6
Quadro 2.3 – Referências bibliográficas	7
Quadro 2.4 – Referências bibliográficas	8
Quadro 2.5 – Referências bibliográficas	8
Quadro 2.6 – Referências bibliográficas	9
Quadro 2.7 – Referências bibliográficas	9
Quadro 4.1 – Lista de tipos de ruído	17
Quadro 4.2 – Locais com ruído Curve Squeal	19
Quadro 4.3 – Locais com ruído de Corrugação do Carril	21
Quadro 4.4 – Locais com Atravessamentos de Nível com Campainha	23
Quadro 6.1 – Parâmetros estatísticos, P1, RA	36
Quadro 6.2 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P1, RA.....	37
Quadro 6.3 – Parâmetros estatísticos, P1, RFP, V1.....	39
Quadro 6.4 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P1, RFP, V1	40
Quadro 6.5 – Parâmetros estatísticos, P1, RFP, V2.....	42
Quadro 6.6 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P1, RFP, V2	43
Quadro 6.7 – Mapas de Ruído do Ponto 1	45
Quadro 6.8 – Parâmetros estatísticos, P2, RA	49
Quadro 6.9 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P2, RA.....	50
Quadro 6.10 – Parâmetros estatísticos, P2, RFP, V1.....	53
Quadro 6.11 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P2, RFP, V1	54
Quadro 6.12 – Parâmetros estatísticos, P2, RFP, V2.....	56
Quadro 6.13 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P2, RFP, V2	57
Quadro 6.14 – Mapas de Ruído do Ponto 2	59
Quadro 6.15 – Parâmetros estatísticos, P3, RA	63
Quadro 6.16 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P3, RA.....	64
Quadro 6.17 – Parâmetros estatísticos, P3, RFP	67
Quadro 6.18 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P3, RFP	68
Quadro 6.19 – Mapas de Ruído do Ponto 3	70
Quadro 6.20 – Parâmetros estatísticos, P4, RA	72

Quadro 6.21 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P4, RA.....	73
Quadro 6.22 – Parâmetros estatísticos, P4, RFP, V1.....	76
Quadro 6.23 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P4, RFP, V1	77
Quadro 6.24 – Parâmetros estatísticos, P4, RFP, V2.....	79
Quadro 6.25 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P4, RFP, V2	80
Quadro 6.26 – Mapas de Ruído do Ponto 4	82
Quadro 6.27 – Parâmetros estatísticos, P5, RA	86
Quadro 6.28 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P5, RA.....	87
Quadro 6.29 – Parâmetros estatísticos, P5, RFP	90
Quadro 6.30 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P5, RFP	91
Quadro 6.31 – Mapas de Ruído do Ponto 5	93
Quadro 6.32 – Parâmetros estatísticos, P6, RA	95
Quadro 6.33 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P6, RA.....	97
Quadro 6.34 – Parâmetros estatísticos, P6, RFP, V1.....	100
Quadro 6.35 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P6, RFP, V1	101
Quadro 6.36 – Parâmetros estatísticos, P6, RFP, V2.....	103
Quadro 6.37 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P6, RFP, V2	104
Quadro 6.38 – Mapas de Ruído do Ponto 6	106

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

DEC - Departamento de Engenharia Civil

NI&DEA – Núcleo de Investigação & Desenvolvimento em Engenharia Acústica

CP – Comboios de Portugal

GIT – Grande Infra-estrutura de Transporte

PMO – Parque de Material e Oficinas

P1 – Ponto 1

P2 – Ponto 2

P3 – Ponto 3

P4 – Ponto 4

P5 – Ponto 5

P6 – Ponto 6

RA – Ruído Ambiente

RFP – Ruído de Fonte Patológica

V1 – Via 1

V2 – Via 2

1

INTRODUÇÃO

1.1. INTRODUÇÃO

O Homem é agente compositor e executante no Ambiente Acústico do meio, muitas vezes de forma não intencional. O impacto das suas acções no planeta e todos os seus habitantes, devem ser sustentáveis a todos os níveis e aqui também se inclui o Ambiente Acústico.

No sentido de salvaguardar e proteger, importa desde logo inventariar o Ambiente Acústico e a Paisagem Sonora nele incluído, seleccionando e classificando o que é natural, o que é humano, o que é património, o que são perturbações, o que provoca emoções, o que provoca dor, o que é tolerável e o que é ou não desejável e essencial à sociedade.

Este processo de inventariação e classificação é essencial para abordar a multitude de ruídos, organizando-os em instrumentos estratégicos de planeamento e de gestão, como é o caso de um mapa de ruído de um município ou de uma grande infra-estrutura de transporte.

O campo sonoro introduzido por uma actividade humana, como seja o desenvolvimento de uma Grande Infraestrutura de Transporte (GIT), tem características específicas e carácter temporário durante o período da sua construção e diferentes características e um carácter pouco variável durante a sua operação.

Dentro da fase de operação, podemos ainda identificar os ruídos mais comuns e presentes, dos ruídos que são um subproduto resultante do desenho do projecto, a que chamaremos ruídos de fontes patológicas. Numa via rodoviária, os primeiros corresponderão por exemplo, à passagem de veículos. Enquanto os segundos serão por exemplo, os ruídos adicionais pela inclusão de um semáforo ou de uma paragem de autocarro: travagem dos veículos, permanência em espera e arranque.

Com este trabalho pretende-se dar um passo no sentido de explorar e inventariar ruídos de fonte patológica na operação de um sistema de metro ligeiro de superfície, tendo como caso de estudo o Metro do Porto.

1.2. PROBLEMÁTICA

A legislação portuguesa, nomeadamente o Decreto-Lei n.º 146/2006 de 9 de Junho e que transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, exige aos municípios portugueses com mais de 100.000 habitantes e densidade populacional igual ou superior a 2.500 hab/km², bem como às Grandes

Infraestruturas de Transporte (GIT), a elaboração de mapas de ruído enquanto instrumento estratégico de planeamento e gestão territorial.

A Norma NP ISO 1996-2:2011 e o “Guia prático para medições de ruído ambiente” [1], baseado naquela norma e editado pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) em Outubro de 2011, dão-nos as metodologias de medição de indicadores de ruído, sendo a lógica destas metodologias orientada para a quantificação dos ruídos mais comuns do sistema de fontes de ruído a serem estudadas.

Existe porém, uma multitude de ruídos cujas fontes não são previsivelmente associadas a um dado campo sonoro, e as quais se convencionou designar por “fontes patológicas”.

Tais fontes são, por exemplo, a passagem de veículos rodoviários sobre tampas de caixas de pavimento que não estejam devidamente niveladas, relativamente ao ruído rodoviário, o ruído de arranque relativamente a um equipamento de AVAC ou a buzina de um navio relativamente a trânsito fluvial.

De momento, há uma ausência generalizada de modelos de estudo de ruído que considerem estas fontes patológicas e não existe obrigatoriedade nem recomendações para a identificação e caracterização dos ruídos das mesmas, quer no exemplos dados no parágrafo anterior ou numa GIT.

Quando estas fontes assumem grandezas significativas, comparativamente ao ruído das fontes sonoras comuns, bem como ao ruído ambiente, então o mapa de ruído de um município ou de uma GIT está incompleto. As fontes patológicas devem ser caracterizadas e o mapa de ruído completado.

A Directiva Europeia 2002/49/CE “Environmental Noise Directive” (END) teve o seu anexo II actualizado em 2015, para a inclusão do trabalho final produzido pelo projecto europeu “Common Noise Assessment Methods in Europe” (CNOSSOS-EU). Neste documento já foram identificados dois ruídos de fonte patológica existente nas vias ferroviárias: o *Curve Squeal* e a corrugação dos carris (descritos em maior detalhe no Capítulo 4).

Os sistemas de metro ligeiro de superfície caracterizam-se por ter um impacto positivo na paisagem sonora urbana, se considerarmos a redução de tráfego rodoviário que lhes está normalmente inerente. O Sistema de Metro Ligeiro da Área Metropolitana do Porto, que vai ser usado como caso de estudo, enquadra-se em tal situação como se pode ler na dissertação de *França de Jesus* [2]. Este efeito positivo na paisagem sonora urbana, pode no entanto ficar pontualmente comprometido por fontes patológicas de ruído na operação daquele meio de transporte, com a consequente incomodidade causada.

Como exemplo e ponto de partida para o trabalho, foram realizadas medições preliminares do ruído “curve squeal” ocorrente na circulação das composições de metro ligeiro em curvas de menor raio, e que é comum a metros ligeiros de todo o mundo inseridos em zonas urbanas consolidadas, onde o traçado da via requer curvas de menores raios. Trata-se de um som tonal agudo, conhecido na língua inglesa como “curve squeal”. A medição foi realizada numa curva do traçado da linha D do Metro do Porto, na zona do Pólo Universitário da Asprela (Universidade do Porto), onde as composições circulam à superfície. Os valores mostraram que este ruído é dominante numa restrita gama de frequências e requer caracterização.

1.3. OBJECTIVO

A presente dissertação tem como objectivo iniciar o exercício de inventariar fontes patológicas de sistemas de metro ligeiro à superfície, no sentido de procurar grandezas e metodologias para caracterizar os vários tipos de ruído.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No presente trabalho, começa-se por apresentar e contextualizar a problemática aqui abordada, sobre os pilares da sustentabilidade e ainda uma abordagem legislativa e normativa.

No Capítulo 2 relembram-se alguns conceitos fundamentais da acústica de exterior, pertinentes para este estudo e procura-se o estado da arte no que respeita à problemática apresentada, quer a um nível detalhado, ou a um nível mais holístico.

No Capítulo 3 faz-se uma breve apresentação do caso de estudo, o Sistema de Metro Ligeiro da Área Metropolitana do Porto, da rede de traçado e sua inserção no espaço urbano, e ainda o material circulante.

No Capítulo 4 são identificados os tipos de fontes de ruído inerentes à operação do Metro do Porto e seleccionados os ruídos que importa caracterizar para este estudo.

No Capítulo 5 são apresentados os locais e as metodologias para a realização das medições para caracterização dos ruídos de fontes patológicas em cada ponto seleccionado para estudo.

No Capítulo 6 apresentam-se os resultados das medições efectuadas, faz-se uma análise aos resultados e estimam-se impactos dos ruídos de fonte patológica na envolvente, com a elaboração de mapas de ruído.

No Capítulo 7 tecem-se conclusões e perspectivam-se desenvolvimentos futuros.

O Anexo 1 do documento apresenta os Relatórios de Medição de cada local.

O Anexo 2 contém as impressões à escala indicada e em formato A3, de todos os mapas de ruído do Capítulo 6.

1.5. ÂMBITO

Importa especificar aqui algumas fronteiras do âmbito deste estudo.

Serão estudados os ruídos aéreos em que o receptor se encontra no espaço público exterior.

Os ruídos resultantes de acções de construção, reparação, reabilitação ou manutenção, não serão aqui considerados.

Faz parte do âmbito deste trabalho a caracterização acústica dos ruídos, mas não dos mecanismos físicos que os geram.

No caso de estudo, não serão ainda considerados os ruídos gerados no Parque de Material e Oficinas (PMO) em Guifões, Matosinhos.

Este trabalho limita-se ao caso de estudo, o Sistema de Metro Ligeiro da Área Metropolitana do Porto e também à observação feita ao longo dos 3 últimos meses de 2016. É nesta linha que as conclusões do trabalho são tecidas.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE ACÚSTICA DE EXTERIOR

Este documento foi escrito considerando que o leitor está familiarizado com os conceitos base da acústica e com a acústica de exterior.

Tais assuntos são extensivamente abordados em edições como “Acústica nos Edifícios” [3] de Jorge Patrício ou o “Texto de Apoio à Disciplina de Acústica Ambiental e de Edifícios” [4] de António Carvalho.

Convém no entanto recordar as propriedades logarítmicas dos parâmetros de medida do nível sonoro, que tem influência na aritmética destes parâmetros. Neste estudo realizam-se somas e médias ponderadas de níveis sonoros.

Recorda-se ainda a curva de ponderação de nível sonoro *Filtro A*, porque e como se usa.

[4] Enquanto os microfones podem captar fielmente as pressões sonoras independentemente da frequência, o ouvido humano tem uma diferente resposta consoante a frequência de som, atingindo maior sensibilidade em gamas de frequência na zona dos 2300Hz a 2800Hz e é muito pouco sensível para baixas frequência (abaixo de 125Hz). Contudo, tal variação da sensibilidade é também dependente da intensidade sonora do próprio som.

Para exprimir essa particularidade “humana” e portanto a real e subjectiva sonoridade de um ruído, é necessário “corrigir” a sensibilidade dos equipamentos de modo a que seja semelhante à do ouvido humano. As curvas que representam as correcções efectuadas em função das frequências do som captado são chamadas curvas de ponderação e a mais usada é denominada como Curva (ou Filtro) A.

O filtro A foi pensado inicialmente para aproximar à resposta humana os ruídos de fraca intensidade. Por isso este filtro é sensivelmente o inverso da curva dos 40 fone de Fletcher-Munsen. As curvas B e C são algo semelhantes mas para ruídos mais intensos (respectivamente entre os 55 e os 85 dB e superior aos 85dB). Contudo, o filtro B já caiu em desuso e actualmente a curva A é quase universalmente aceite. A curva D utiliza-se em especial só com ruídos de aviões.

Assim, a curva A tornou-se o grande referencial em ruído urbano. Na legislação portuguesa, o uso da curva A é generalizado, a curva B não é usada e a curva C apenas é usada na avaliação do nível de pressão sonora de pico em locais de trabalho.

Neste estudo usou-se a curva A para a elaboração dos mapas de ruído, no seguimento do que é o referencial em ruído urbano, mas todas as medições foram realizadas sem aplicação de filtros e em bandas de terço de oitava.

Finalmente, recordam-se os parâmetros estatísticos dos níveis sonoros L_n .

L (ou L_{eq}) representa o nível sonoro de uma medição de duração T . L_n representa um parâmetro calculado com base em análise estatística sendo o nível sonoro que é excedido numa percentagem n do tempo de medição. Os parâmetros usados neste estudo foram L_5 , L_{50} e L_{95} .

2.2. ESTADO DA ARTE

2.2.1. LEGISLAÇÃO, NORMAS E DIRECTIVAS EUROPEIAS

No Quadro 2.1 listam-se referências bibliográficas de legislação europeia e portuguesa e ainda normativo, de acústica de exterior, pertinentes para o presente estudo.

Quadro 2.1 – Referências bibliográficas

	Tipo	Nome	
1	Directiva Europeia	Directiva n.º 2002/49/CE	END – Environmental Noise Directive
2	Legislação Portuguesa	Decreto-Lei n.º 146/2006	Transpõe Directiva n.º 2002/49/CE
3	Legislação Portuguesa	DL 9/2007 e DR 18/2007 e DL 278/2007	Regulamento Geral do Ruído
4	Norma Portuguesa	NP ISO1996-1:2011 NP ISO1996-2:2011	Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente. Parte 2: Determinação dos níveis de pressão sonora do ruído ambiente.

2.2.2. MEDIÇÃO DE RUÍDO EXTERIOR E RUÍDO FERROVIÁRIO

No Quadro 2.2 listam-se referências bibliográficas relativas a medição na acústica de exterior e em particular de ruído de operação ferroviária.

Quadro 2.2 – Referências bibliográficas

	Tipo	Nome	Autor(es)	
5	Revista científica	EU Rail Noise: a study of European priorities and strategies for railway noise abatement	M. Kalivoda, U. Danneskiold-Samsoe, F. Krüger, B. Barsikow	Journal of Sound and Vibration (2003)
Artigo que resume os resultados do estudo <i>EURailNoise</i> .				

	Tipo	Nome	Autor(es)	
6	Acta de conferência internacional	Expedite methodology for assessing noise levels in an urban scenario based on a new parameter: the Significant Measurement Starts (SMS)	António P.O. Carvalho, Tiago M.D. Ferreira, Rui Calejo Rodrigues	10th IC on Sound and Vibration (2003)
	Estudo onde se propõe descritor para avaliar desempenho de medidas de LAeq de curta duração em função da duração e da hora de início da medição, relativamente à medição do LAeq permanente.			
7	Acta de conferência internacional	Will high speed trains change Portuguese railway noise?	António P. O. Carvalho, Pedro D. S. Oliveira	NOISE-CON 2011
	Estudo que compara o campo sonoro actual da ferrovia com o campo sonoro esperado com a introdução de comboios de alta velocidade.			
8	Acta de conferência internacional	Expeditious noise mapping at a municipal level	A. Carvalho, R. Rodrigues	InterNoise 2000
	Estudo que procura método expedito e de baixo custo para mapeamento de ruído em áreas grandes, usando poucos recursos.			
9	Dissertação para grau de Mestre	Acústica Ambiental – Análise de Ruído Urbano	Ana Sofia M. Silva	(2009)
	Estudo que compara o campo sonoro urbano actual com o campo sonoro esperado com a substituição dos veículos de transporte individual por veículos de transporte colectivo.			
10	Acta de conferência internacional	Modelação de Ruído de Tráfego Ferroviário	D. Alarcão, J. L. Bento Coelho	Acústica 2008
	Modelação de ruído de tráfego ferroviário resultante da contribuição de diferentes fontes sonoras.			
11	Documento Técnico	Directrizes para Elaboração de Mapas de Ruído – versão 3	Agência Portuguesa do Ambiente (APA)	(Dez 2011)
12	Documento Técnico	Guia prático para medições de ruído ambiente	Agência Portuguesa do Ambiente (APA)	(Dez 2011)
13	Acta de conferência internacional	On Noise Mapping and Action Plans in Portugal	J. L. Bento Coelho, D. Alarcão	23rd IC on Sound & Vibration (2016)
	Exposição de estudos de mapeamento de ruído de grande escala e estratégias e soluções de mitigação.			
14	Documento Técnico	Railway Noise Measurement and Reporting Methodology	Canadian Transportation Agency	(2011)
	Metodologia para medição e reporte de medição de ruído da Canadian Transportation Agency.			
15	Dissertação para grau de Mestre	Ruído de comboios de alta velocidade – Emissões e Medidas Mitigadoras	Henrique M. F. Silva Gonçalves	2008
	Estudo sobre os ruídos inerentes à circulação de comboios de alta velocidade.			

2.2.3. PREVISÃO DE RUÍDO EXTERIOR E RUÍDO FERROVIÁRIO

No Quadro 2.3 listam-se referências bibliográficas relativas a modelação e mapeamento na acústica de exterior e em particular de ruído de operação ferroviária.

Quadro 2.3 – Referências bibliográficas

	Tipo	Nome	Autor(es)	
16	Acta de workshop internacional	The new German prediction model for railway noise “Schall 03 2006” - Potentials of the new calculation method for noise mitigation of planned rail traffic	U. Moehler, M. Liepert	9 th International Workshop on Railway Noise (2007)
Artigo sobre o modelo alemão de previsão de ruído ferroviário.				
17	Acta de conferência internacional	Common noise assessment methods for europe (cnossos-eu): implementation challenges in the context of EU Noise Policy developments and future perspectives	Stylianios Kephelopoulou, Marco Paviotti	23rd IC on Sound & Vibration (2016)
Análise à implementação de método europeu de avaliação de ruídos comuns (projecto CNOSSOS-EU).				

2.2.4. RUÍDO “CURVE SQUEAL”

No Quadro 2.4 listam-se referências bibliográficas relativas ao ruído ferroviário “*curve squeal*”: medição e modelação dos fenómenos físicos que o geram.

Quadro 2.4 – Referências bibliográficas

	Tipo	Nome	Autor(es)	
18	Tese para Doutorado	Wheel-Rail Noise Generation: Curve Squeling by Trams	Frédéric Jacques Périard	Technische Universiteit Delft (1998)
Modelo mecânico numérico, de movimento de um <i>tram</i> em curva e ruído gerado pelas suas rodas.				
19	Acta de conferência internacional	Experimental investigation on squeal noise in tramway sharp curves	R. Corradi, P. Crosio, S. Manzoni, G. Squicciarini	Eurodyn 2011
Apresentação de dados experimentais para melhor compreensão do fenómeno de <i>curve squeal</i> .				
20	Acta de conferência internacional	Noise and vibration measurements of curve squeal noise due to trams on the track	Volz, Rudi; Feldmann, Joachim	ICA 2007
Apresentação de dados experimentais de ruído e de vibração, do fenómeno de <i>curve squeal</i> .				
21	Acta de conferência internacional	A measurement protocol for curve squeal noise	E. Verheijen, R. van Haaren, J. Van Den Brink	InterNoise 2000
Apresentação de proposta de protocolo para medição sonora do fenómeno de <i>curve squeal</i> .				

	Tipo	Nome	Autor(es)	
22	Acta de conferência internacional	Preventing railway Squeal Noise through railhead optimisation	E.J.M. Hiensch, J.W.Lammers	8 th World Congress on Railway Research (2008)

Proposta para prevenção de ruído de *curve squeal*, através de alteração do desenho da cabeça do carril.

2.2.5. RUÍDO DESGASTE ANORMAL DO CARRIL (CORRUGAÇÃO)

No Quadro 2.5 listam-se referências bibliográficas relativas a irregularidades do carril, mecanismos físicos que levam à sua geração e ruído associado.

Quadro 2.5 – Referências bibliográficas

	Tipo	Nome	Autor(es)	
23	Revista científica	Rail corrugation: characteristics, causes, and treatments	S L Grassie	J. Rail and Rapid Transit (2009)
Proposta de classificação dos vários tipos de fenómeno de corrugação de carril.				
24	Dissertação de Mestrado	Análise da Degradação do Carril - Caso de Estudo da Rede Ferroviária Portuguesa	Carlos D. G. P. Dias Valente	IST (2014)
Análise de degradação do carril da rede ferroviária portuguesa, considerando o tipo de carril e geometria do traçado.				
25	Revista científica	Rail irregularities, corrugation and acoustic roughness: characteristics, significance and effects of reprofiling	Stuart L Grassie	J. Rail and Rapid Transit (2012)
Estudo de irregularidades e corrugação de carris, características, importância e efeitos de reperfilamento.				
26	Sítio de Internet	http://www.corrugation.eu/research/	EU funded research project	(acedido em Dezembro 2016)
Projecto europeu para estudo do fenómeno de corrugação em carris.				

2.2.6. RUÍDO RADIADO EM PONTES DE ESTRUTURA METÁLICA

No Quadro 2.6 listam-se referências bibliográficas relativas a medições e modelação numérica dos mecanismos físicos que levam à geração de ondas sonoras por radiação dos elementos de pontes de estrutura metálica, quando atravessadas por composições ferroviárias.

Quadro 2.6 – Referências bibliográficas

	Tipo	Nome	Autor(es)	
27	Revista científica	An investigation of noise from trains on bridges	J.G.Walker, N.S.Ferguson, M.G.Smith	Journal of Sound and Vibration (1995)
Apresentação de medições de ruído de 2 casos de estudo de pontes metálicas ferroviárias.				

28	Revista científica	A calculation model for the noise from steel railway bridges	M.H.A. Janssens, D.J.Thompson	Journal of Sound and Vibration (1996)
Modelo numérico para cálculo de ruído radiado de pontes metálicas ferroviárias.				
29	Revista científica	The use of dynamic dampers on the rail to reduce the noise of steel railway bridges	Franck Poisson, Florence Margiocchi	Journal of Sound and Vibration (2006)
Estudo de uso de amortecedores dinâmicos para redução de ruído radiado de pontes metálicas ferroviárias.				

2.2.7. RUÍDO EM SAÍDA DE TÚNEL (TUNNEL BOOM)

No Quadro 2.7 lista-se referência bibliográfica relativa ao ruído de saída de túnel.

Quadro 2.7 – Referências bibliográficas

	Tipo	Nome	Autor(es)	
30	Revista científica	Prediction and validation on the sonic boom by a high-speed train entering a tunnel	T. S. Yoon, S. Lee, J. H. Hwang, D. H. Lee	Journal of Sound and Vibration (2001)
Apresentação de modelo número para previsão de <i>sonic boom</i> , e validação com dados experimentais.				

3

CASO DE ESTUDO - SISTEMA DE METRO LIGEIRO DA ÁREA METROPOLITANA DO PORTO

3.1. A REDE DO METRO DO PORTO

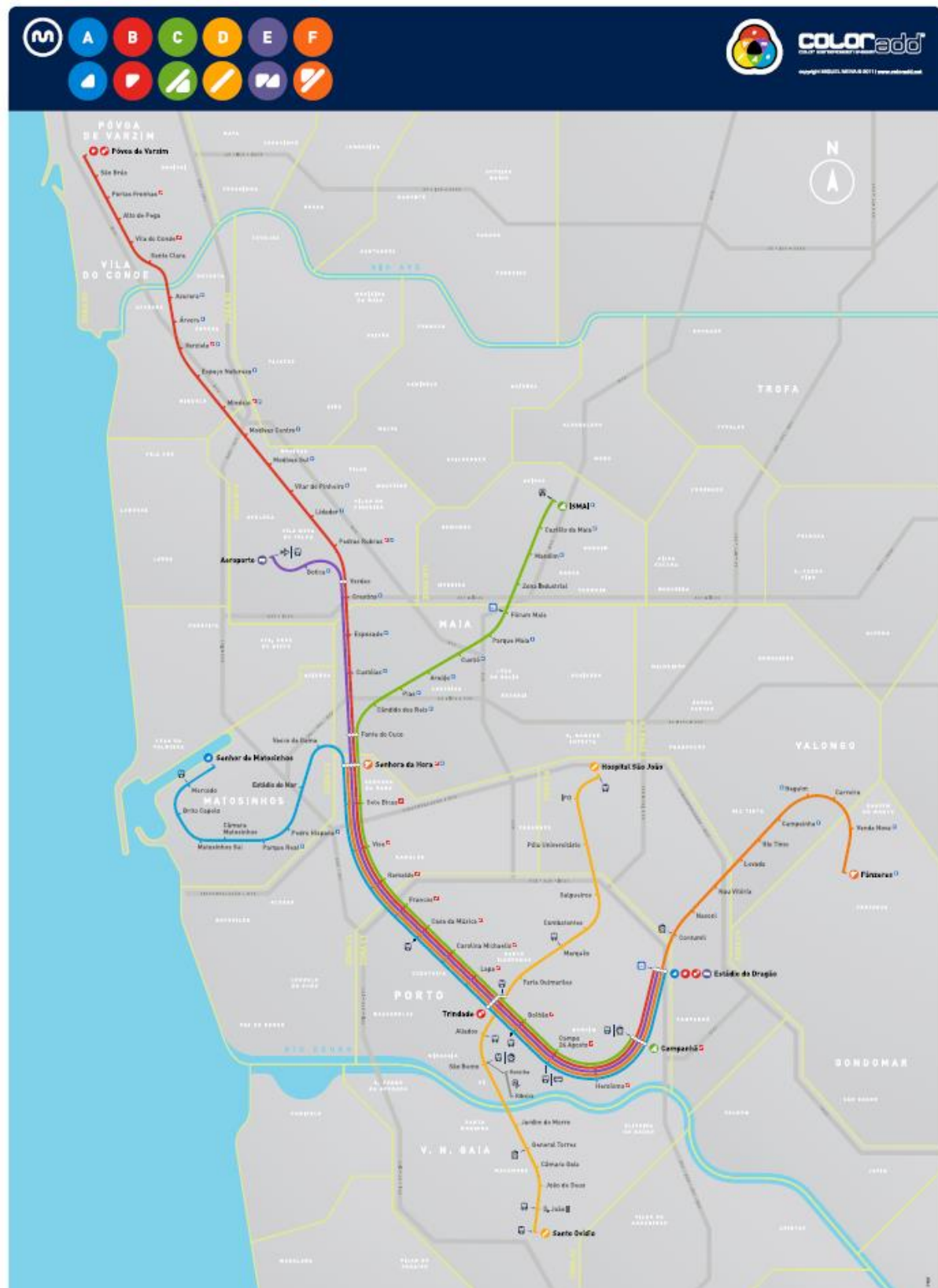
O Sistema de Metro Ligeiro da Área Metropolitana do Porto (SMLAMP), popularmente designado por Metro do Porto, teve a sua primeira linha inaugurada a 7 de Dezembro de 2002, ligando Campanhã ao Sr. de Matosinhos.

Novos troços e linhas foram sendo construídos e adicionados à rede, transformando profundamente os padrões de deslocamento dos habitantes da Área Metropolitana do Porto.

Na rede do Metro do Porto, que conta actualmente com 67 km de extensão de traçado em via dupla, circulam 102 veículos, explorando 6 linhas comerciais.

A rede serve 7 concelhos, atravessando áreas densamente urbanizadas à superfície em canal dedicado, ou à superfície em canal segregado, ou em túnel. Atravessa ainda áreas de periferia urbana, também designadas periurbanas, e ainda áreas rurais.

A limitação destas áreas tem impacto no desenho do traçado do metro e na definição de todas as infra-estruturas associadas, o que por sua vez determina as diferentes características do ambiente acústico gerado.



3.2. MATERIAL CIRCULANTE

O Metro do Porto opera actualmente com dois tipos de veículo com diferentes características. São habitualmente chamadas “Eurotram” e “Tram Train”.

3.2.1. EUROTRAM

O Eurotram entrou em operação regular com a primeira linha da Metro do Porto, em 2003.

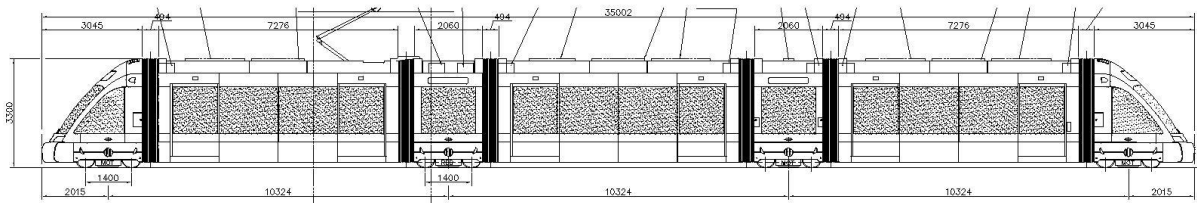


Fig.3.2 – Alçado do Eurotram

As principais características deste veículo que importam evidenciar neste estudo, são:

- cada unidade tem 35 metros de comprimento, dividida em 7 módulos;
- o chassis está apoiado sobre 4 bogies;
- cada bogie tem 2 pares de rodas;
- nem todas as massas do bogie têm amortecimento;
- a tara do veículo é de 40,5 toneladas;
- o peso do veículo em carga máxima (6 pessoas/m²) é de 61,0 toneladas;
- a velocidade máxima é de 80 km/h;
- a dimensão das rodas é considerada pequena dentro do contexto da ferrovia, e mesmo na gama de veículos “Light Rail Transit”, o que faz com que o Eurotram seja mais adequado para zonas urbanas onde as acelerações e travagens sejam uma constante e a velocidade máxima não seja tão determinante.

3.2.2. TRAM TRAIN

O veículo Tram Train entrou em operação em 2009, estando afecto à operação nas linhas B e C.

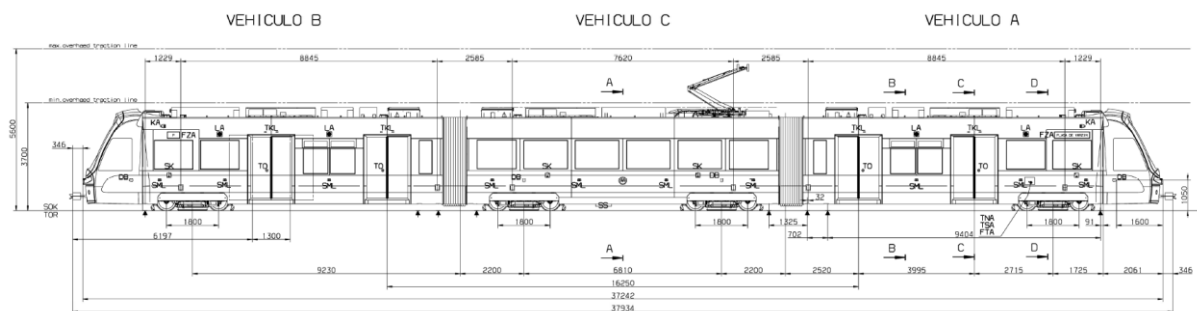


Fig.3.3 – Alçado do Tram Train

As principais características deste veículo que importam evidenciar neste estudo, são:

- cada unidade tem 37 metros de comprimento, dividida em 3 módulos;
- o chassis está apoiado sobre 4 bogies;
- cada bogie tem 2 pares de rodas;
- todas as massas do bogie têm amortecimento;
- a tara do veículo é de 57,9 toneladas;
- o peso do veículo em carga máxima (6 pessoas/m²) é de 80,6 toneladas;
- a dimensão das rodas é considerada grande dentro do contexto de veículos “Light Rail Transit”, o que faz com que o Tram Train seja mais adequado para ligar zonas mais distantes atravessando áreas periurbanas e rurais, onde as acelerações e travagens sejam menos comuns, as estações mais espaçadas entre si e a velocidade máxima seja determinante para a qualidade da operação. Está por isso afecto às linhas B e C.

Pese embora o Tram Train seja mais pesado que o Eurotram, o facto de ter rodas maiores e todas as massas dos bogies terem amortecimento, faz com que este veículo seja menos propenso a ruídos de contacto roda-carril, bem como a vibrações.

3.2.3. COMPOSIÇÕES

Ambos os tipos de veículo do Metro do Porto podem circular em unidades isoladas ou em composição de dois veículos do mesmo tipo. Assim, não é possível a circulação de uma composição dupla com um veículo Eurotram acoplado a um veículo Tram Train.

A escolha da composição dos veículos está maioritariamente dependente de factores comerciais como a procura dos vários troços da linha, o dia de semana e hora do dia.



Fig.3.4 – Composição dupla de veículos Eurotram

4

RUÍDOS DE FONTES PATOLÓGICAS

4.1. IDENTIFICAÇÃO DE TIPOS DE RUÍDO DE OPERAÇÃO DO METRO DO PORTO

Para a identificação dos ruídos que compõem o ambiente acústico do Metro do Porto, começou-se por consultar a bibliografia dedicada a ruídos de ferrovia.

Paralelamente, realizaram-se reuniões com vários técnicos da Metro do Porto, S.A..

Realizaram-se ainda campanhas de visita a vários pontos da rede do Metro do Porto, no sentido de confirmar ruídos já assinalados e procurar novos.

4.1.1. Consulta de Bibliografia Científica

Da consulta da bibliografia científica (Capítulo 2), foi possível verificar que o ruído das infra-estruturas ferroviárias é estudado há várias décadas, existindo por isso, e para alguns tipos de ruído, muita informação disponível.

No entanto, a abordagem destes estudos é na larga maioria feita de um ponto de vista de o ruído ser um indicador de uma patologia estrutural e não de ser um problema per si. Isto é, estudaram-se os mecanismos de formação de patologias estruturais através do ruído.

Por este motivo, encontrou-se na bibliografia um grande manancial dos tipos de ruído existentes, mas a lista não ficou completa com esta consulta, pois nem todos os ruídos de fonte patológica são sinal de um problema estrutural.

Listam-se de seguida os tipos de ruído identificados:

- tracção;
- rolamento;
- travagem;
- aerodinâmico;
- saídas de túnel (em boca de túnel e em trincheira);
- vibração pelo solo;
- radiação em pontes metálicas ferroviárias;
- “curve squeal” (chiado em curva);
- impacto: acoplamento de composições;
- corrugação do carril devido a desgaste prematuro;

4.1.2. Reunião com Colaboradores da Metro do Porto, S.A.

Foram realizadas reuniões com técnicos da Metro do Porto, nomeadamente das áreas de Ambiente, Segurança, Projecto, Electromecânica e Operação e Manutenção.

Destas reuniões resultou a recolha de tipos de ruídos, alguns dos locais onde ocorrem e quando medidas de mitigação adoptadas pela Metro do Porto.

Apresentam-se de seguida os dados recolhidos nestas reuniões.

Ruído *Curve Squeal*

Este ruído foi há vários anos identificado pela Metro do Porto e os locais onde foi identificada a ocorrência consistente do ruído de squeal, foram dotados de um sistema passivo de espalhamento de líquido viscoso à passagem dos veículos, para permitir que o inevitável deslizamento das rodas do veículo no carril não ocorra em contacto directo metal-metal.

É expectável que os casos iniciais mais graves em termos de nível sonoro e frequência de ocorrência, já não ocorram. Ainda assim, é assumido que este tipo de ruído ainda ocorre de forma esporádica, em algumas curvas da rede. Foram fornecidos alguns locais onde este ruído poderá ainda ocorrer.

Anúncios Informativos nas Estações à Superfície

No início da operação, a Metro do Porto recebeu algumas reclamações por parte de moradores e trabalhadores das imediações de estações de metro à superfície, relativamente aos anúncios informativos que são destinados aos utilizadores do metro.

Foram tomadas medidas de mitigação, com a redução da duração de informação transmitida sem comprometer a qualidade do serviço e escolha de altifalantes direccionados aos locais designados aos clientes para espera de veículos.

Não existem de momento reclamações na Metro do Porto, relativas a este assunto.

Campainhas de Atravessamentos Rodo-Ferroviários de Nível

No seguimento de reclamações, a Metro do Porto reduziu ao mínimo legal, o tempo de toque e intensidade de toque das campainhas nos atravessamentos rodo-ferroviários de nível. Há ainda assim reclamações de moradores pendentes, porque apesar de estes aceitarem o facto de estas passagens serem históricas e já existirem previamente ao Metro do Porto, e quando a linha era explorada pela CP, a frequência dos veículos na operação do metro é muito superior e por isso o número de vezes e tempo total que a campainha soa, é proporcionalmente superior.

Radiação de Elementos Metálicos da Ponte Luiz I

A passagem dos veículos do Metro do Porto no tabuleiro superior da ponte Luiz I, provoca a vibração elástica dos elementos metálicos constituintes da ponte, que radiam ondas sonoras. Este ruído pode ser facilmente percebido nas margens do rio Douro, nas imediações da ponte e afecta as habitações vizinhas.

Face a várias reclamações de habitantes, a Metro do Porto tomou como acção de mitigação, a redução da velocidade de circulação dos veículos durante o período nocturno.

4.1.3. Análise de mapas satélite e visita ao terreno

Usando a ferramenta *Google Maps* combinada com o traçado da rede do Metro do Porto e usando o conhecimento do autor sobre a rede, foi feita uma análise prévia de locais com potencial para a existência de ruídos.

Foram identificadas curvas de raio reduzido, passagens de nível, bocas de túnel e trincheiras e zonas de grande intensidade de tráfego ferroviário do Metro do Porto.

Numa segunda fase, foram visitados os locais previamente identificados, para confirmar a existência dos ruídos e pré-seleccionar de entre os locais com ruídos do mesmo tipo, os que apresentam melhores características para realizar as medições caracterizadoras de cada um dos ruídos.

Nestas visitas foram ainda identificados novos tipos de ruídos. Foram os seguintes:

- circulação sobre juntas de soldadura de carris
- circulação sobre juntas de dilatação de carris
- circulação sobre aparelhos de mudança de via (AMV)

4.2. SELECÇÃO DE TIPOS DE RUÍDO A CARACTERIZAR

Na tabela seguinte listam-se os ruídos identificados, tecem-se comentários e faz-se a selecção dos ruídos que serão caracterizados neste estudo.

Quadro 4.1 – Lista de tipos de ruído

RUÍDO	TIPOLOGIA	COMENTÁRIO
Tracção	Circulação	Ruído comum, já estudado, caracterizado e mapeado.
Rolamento	Circulação	Ruído comum, já estudado, caracterizado e mapeado.
Travagem	Circulação	Ruído comum, já estudado, caracterizado e mapeado.
Aerodinâmico	Aerodinâmico	Ruído relevante para velocidades superiores a cerca de 200km/h. Não é relevante para o caso do Metro do Porto.
Saída de Túnel	Aerodinâmico	Foram realizadas medições preliminares que indicam muito pouca prevalência deste ruído sobre os outros ruídos de circulação, no caso do Metro do Porto. Isto deve-se à baixa velocidade de circulação dos veículos.
Vibração pelo Solo	Estrutural	O ruído transmitido pela vibração do solo, é um tema muito complexo que extravasa o âmbito do presente estudo. Há uma linha de investigação activa sobre transmissão de vibrações provocadas por ferrovia, no DEC da FEUP.

RUÍDO	TIPOLOGIA	COMENTÁRIO
Radiação em pontes metálicas	Estrutural	Este ruído pode ouvir-se nas imediações da ponte Luiz I, onde os veículos do metro circulam no tabuleiro superior, porém o ruído radiado pela vibração dos elementos de uma ponte metálica é um tema muito complexo que extravasa o âmbito do presente estudo.
Curve Squeal	Circulação em curva	Este ruído é particularmente característico em metros ligeiros de superfície, tal como o metro do porto e por isso será abordado neste estudo.
Corrugação do Carril	Desgaste prematuro	Este ruído foi identificado em troços do traçado do metro do porto e tem notório agravamento da intensidade de ruído. Será abordado neste estudo.
Anúncios nas Estações à Superfície	Outros	Este ruído é comum, mas as suas particularidades não são habitualmente considerado. Já foi motivo de reclamações à Metro do Porto e será abordado neste estudo.
Campainhas de Atravessamentos Rodo-Ferrovíarios	Outros	Este ruído é imperativo por razões de seguranças. Porém, já foi motivo de reclamações à Metro do Porto e será abordado neste estudo.
Acoplamento de composições	Impacto	Este ruído ocorre maioritariamente dentro do Parque de Material e Oficinas (PMO) da Metro do Porto em Guifões. O campo sonoro gerado no PMO merece um estudo próprio e não será abordado neste estudo.
Juntas de soldadura de carris	Impacto	Este ruído ocorre quando por defeito de construção, a geometria dos carris não fica perfeitamente contínua. No metro do porto, este ruído não é em geral muito prevalente, mas por se ter encontrado um caso onde este assume particular intensidade, será abordado neste estudo.
Juntas de dilatação de carris	Impacto	Este ruído é fruto da descontinuidade na geometria dos carris e existe em vários locais da rede, mas tipicamente nos encontros de obras de arte. No Metro do Porto, este ruído não é em geral muito prevalente e não será abordado neste estudo.
Aparelhos de mudança de via	Impacto	Este ruído ocorre devido à necessária descontinuidade na geometria dos carris. No metro do porto, este ruído não é em geral muito prevalente e não será abordado neste estudo.

4.3. DESCRIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE RUÍDOS SELECIONADOS

4.3.1. CURVE SQUEAL (CHIADO EM CURVA)

Descrição

Este fenómeno é um ruído tonal, de elevada intensidade comparativamente a outras fontes de ruído do veículo, radiado pelas rodas quando o veículo circula em curvas de raio reduzido.

Na curva, as rodas não estão alinhadas com os carris. Este desalinhamento é compensado por largos movimentos laterais das rodas, que ocorrem de forma irregular. Sob a influência destes movimentos laterais, as rodas vibram elasticamente e radiam ondas sonoras. Ver Périard [5].

A referida irregularidade dos largos movimentos laterais das rodas, explica também porque nalguns casos de passagem de veículos o ruído é intermitente ao longo da curva, podendo também a frequência variar em oitavas ou outras frequências correspondentes a modos próprios de vibração da roda.

Naturalmente, quanto menor for o raio da curva, maior é a diferença relativa de comprimento dos carris e portanto maiores os movimentos laterais. E quanto maiores são estes movimentos, maior é a probabilidade de ocorrência do *curve squeal* e também da sua intensidade sonora.

O traçado das linhas de metro ligeiro de superfície, construídas dentro de centros urbanos consolidados, frequentemente inclui curvas de raio reduzido. Por esta razão, o fenómeno ocorre com grande intensidade em zonas densamente ocupadas, perturbando os habitantes e trabalhadores da sua envolvente. Este tipo de ruído está por isto mais associado a metros ligeiros.

Deve ser notado, porém, que também pode ocorrer em comboios, embora dificilmente estas vias tenham curvaturas de raio tão reduzido como os metros ligeiros.

Medições realizadas por Stappenbeck H. em 1954, mostraram que o *curve squealing* é produzido pela vibração das rodas. Mostram ainda uma correlação entre as altas frequências de tom do ruído e as frequências de ressonância dos conjuntos de rodas.

Localização

Da reunião com a Metro do Porto e de visita a vários locais da rede, foram identificados 6 locais onde este ruído poderia ocorrer.

Quadro 4.2 – Locais com ruído Curve Squeal

Local	Coordenadas	Troço	Comentário
SQ1	41°10'42.8"N 8°36'21.4"W	Linha D, entre estação Pólo Universitário e estação IPO	Ocorrência consistente. Ruído Ambiente aparentemente não muito elevado.
SQ2	41°10'36.4"N 8°36'13.7"W	Linha D, entre estação Pólo Universitário e estação IPO	Ocorrência pouco frequente. Ruído Ambiente aparentemente não muito elevado.
SQ3	41°11'10.2"N 8°39'36.6"W	Linha A, entre estação Vasco da Gama e estação Estádio do Mar	No local verificou-se que o ruído já não ocorre.
SQ4	41°11'25.2"N 8°39'18.1"W	Linha A, entre estação Senhora da Hora e estação Vasco da Gama	Ocorrência regular. Porém, a existência de outros ruídos de fontes patológicas no local, bem como ruído ambiente mais elevado, torna difícil isolar o ruído para estudo.
SQ5	41°10'48.5"N 8°41'22.1"W	Linha A, entre estação Matosinhos Sul e estação Brito Capelo	No local verificou-se que o ruído não ocorre.

Local	Coordenadas	Troço	Comentário
SQ6	41°11'13.8"N 8°41'38.0"W	Linha A, entre estação Brito Capelo e estação Mercado de Matosinhos	Ocorrência consistente. Ruído Ambiente aparentemente um pouco elevado, porém o ruído de squeal parece destacar-se bem.

Numa primeira fase, foi escolhido o local SQ1, tendo sido realizado um primeiro conjunto de medições. Dias mais tarde, quando se regressou ao local para realizar outro conjunto de medições, verificou-se que o ruído já não ocorria.

Em consulta com a Metro do Porto, soube-se que a curva a ser estudada está dotada do sistema de mitigação deste ruído, acima descrito. O motivo pelo qual o ruído estaria a ocorrer anteriormente e não posteriormente, seria o facto do líquido lubrificante ter esgotado e ter sido entretanto repostado o depósito numa acção de manutenção.

Perante esta situação optou-se por escolher novo local para a medição deste tipo de ruído, tendo-se seleccionado SQ6.

Ainda assim, consideraram-se as medições feitas em SQ1 e apresentam-se neste estudo. Os motivos para esta decisão são:

- o número de medições de ruídos de fonte patológica, em cada via de circulação, foram em número representativo;
- as medições de ruído ambiente são consistentes em nível de pressão sonora;
- as medições de ruído ambiente estão dentro da gama de valores anteriormente medidos pelo NI&DEA.

4.3.2. CORRUGAÇÃO DO CARRIL

Descrição

As irregularidades nas rodas dos veículos e nos carris causam ruído, vibrações transmitidas pelo solo e em geral mais cargas dinâmicas, o que amplia danos tanto nos veículos como na via férrea. Rodas e carris, ambos ficam propensos a desenvolver irregularidades quasi-sinusoidais, a que se chama corrugação quando o comprimento de onda é inferior a cerca de um metro.

Na classificação proposta por Grassie [6], há 6 tipos de corrugação, em função dos diferentes mecanismos de formação, mas os efeitos das irregularidades são substancialmente os mesmos, quer ocorram nas rodas ou nos carris.



Fig.4.1 – Carril corrugado (Sra. Hora-Fonte do Cuco)

Localização

Foram identificados 2 locais onde os carris apresentam corrugação.

Quadro 4.3 – Locais com ruído de Corrugação do Carril

Local	Coordenadas	Troço	Comentário
COR1	41°13'59.2"N 8°37'23.4"W	Linha C, entre estação Parque da Maia e estação Forum	Ocorrência consistente, mas intensidade do ruído é baixa, misturando-se com o trânsito rodoviário envolvente.
COR2	41°11'28.0"N 8°39'18.8"W	Linhas B e C, entre estação Senhora da Hora e estação Fonte do Cuco	Ocorrência consistente, e ruído destaca-se do ruído ambiente. A grande frequência de veículos dificulta a medição de ruído ambiente.

O local COR2 é sem dúvida a melhor opção para a medição deste ruído.

4.3.3. RUÍDO DE IMPACTO – DEFEITO NA JUNTA DE SOLDADURA DO CARRIL

Descrição

As juntas de soldadura são uma inevitabilidade do processo construtivo, inerente às exigências funcionais de uma infra-estrutura ferroviária moderna, permitindo um rolamento contínuo das rodas dos veículos. No entanto, apesar desta continuidade, as juntas de soldadura não deixam de ter características mecânicas diferentes do carril e por isso mesmo trazerem, com o tempo, algumas irregularidades geométricas.

Há ainda a situação de que durante a construção, algumas juntas de soldadura terem ficado próximas dos limites máximos de tolerâncias geométricas, o que garante a segurança e funcionalidade do sistema, mas introduz ruídos de impacto entre as rodas e o carril.

Localização

Durante visitas à rede de metro, foi encontrado na Rua Brito Capelo em Matosinhos, no cruzamento com a Rua Godinho, uma junta de soldadura que mereceu particular atenção e que se decidiu integrar neste estudo. Esta parte do traçado pertence à Linha A e situa-se entre as estações “Matosinhos Sul” e “Brito Capelo”.

4.3.4. ANÚNCIOS INFORMATIVOS NAS ESTAÇÕES

Descrição

A existência de estações à superfície inseridas no tecido urbano, significa que estes anúncios muito desejáveis pelos utilizadores do Metro do Porto, são no entanto indesejados pelos habitantes e trabalhadores das imediações das estações e por isso considerados por eles como ruído.

Os anúncios nas estações são de cariz informativo da operação do Metro do Porto, incluindo anúncios relativos a:

- chegada e destino de veículos;
- segurança;
- interrupções e avarias;
- outras informações.

Localização

Os anúncios são emitidos nas estações de superfície, por isso procurou-se a que terá um baixo ruído ambiente. Escolheu-se assim a estação Brito Capelo da Linha A. A rua Brito Capelo em Matosinhos tem o trânsito rodoviário limitado a veículos de emergência e veículos para cargas e descargas de espaços comerciais.

4.3.5. CAMPAINHA EM ATRAVESSAMENTOS RODO-FERROVIÁRIOS DE NÍVEL

Descrição

As campainhas de passagens de nível rodo-ferroviárias, bem como as barreiras e labirintos, são uma exigência de segurança, fundamental para todos os que as usam, atravessando-as no material circulante ferroviário, em veículos rodoviários ou em atravessamento pedonal.

O Metro do Porto é um sistema de metro ligeiro que está inserido em tecido urbano, mas que também liga zonas urbanas atravessando as áreas de periferia urbana, também designadas por periurbanas e ainda algumas áreas rurais.

Esta distinção em termos tipológicos da área atravessada, reflecte-se em múltiplas opções na concepção das infra-estruturas do sistema de metro, nomeadamente nos atravessamentos de nível rodo-ferroviários.

Assim, nas áreas urbanas consolidadas, onde o metro circula à superfície em canal não segregado, os veículos do metro estão limitados à velocidade de 50km/h, se nenhuma outra limitação existir. Aqui, os atravessamentos são idealmente reduzidos em número, com a criação de ruas paralelas e rotundas espaçadas, com o atravessamento regulado por semaforização.

Nas áreas urbanas com circulação em canal segregado, áreas periurbanas e rurais, os veículos do metro circulam sem limitações de velocidade e a existência barreiras rodoviárias, labirintos pedonais, semáforos e sinalização sonora nos atravessamentos de nível, são uma exigência de segurança, fundamental para todos os que os usam, estejam a circular no veículo do metro, num veículo rodoviário ou a pé.

Este último tipo de atravessamentos de nível, apenas existe nas linhas do Metro do Porto que sucederam às antigas Linha da Póvoa e Linha da Trofa exploradas pela CP, tendo a Metro do Porto procedido à substituição de vários daqueles por atravessamentos desnivelados, no sentido de aumentar a segurança e a velocidade média de operação do sistema de metro.

Especialmente em áreas urbanas e periurbanas, a existência de atravessamentos de nível com a obrigatória sinalização sonora, materializada através de campainhas próprias para o efeito, pode ser fonte de incómodo aos habitantes e/ou trabalhadores das imediações.

É importante notar que a potência acústica destes dispositivos é bastante elevada, como se pode ler no estudo realizado por D.Alarcão et al [7]. No referido estudo foram analisadas 3 campainhas com as potências acústicas totais a variarem entre 94,5 dB e 110,0 dB e com concentração desta energia nas altas frequências.

Importa ainda referir que estes atravessamentos embora históricos, existem agora num contexto de operação diferente do anterior à exploração do Metro do Porto, em particular no que diz respeito à frequência de passagem do material circulante, sendo agora muito superior, o que significa portanto, que a campainha soa com proporcional aumento de frequência.

Localização

De entre os atravessamentos de nível com campainhas de sinalização sonora, foram pré-seleccionados 3 locais, todos em zonas com potencialmente menor intensidade de ruído ambiente.

Quadro 4.4 – Locais com Atravessamentos de Nível com Campainha

Local	Coordenadas	Troço	Comentário
CMP1	41°15'49.2"N 8°37'00.7"W	Linha C, no cruzamento com a R. da Quinta Amarela, a norte da estação Castelo da Maia	Ocorrência consistente, mas dificuldade de medição devido à frequência de passagem do metro aqui ser baixa.

Local	Coordenadas	Troço	Comentário
CMP2	41°14'52.2"N 8°39'45.5"W	Linha B, no cruzamento com a R. do Dr. Farinhote, a norte da estação Pedras Rubras	Ocorrência consistente, e ruído destaca-se do ruído ambiente. O ruído aparenta ser moderado.
CMP3	41°14'36.2"N 8°39'36.5"W	Linha B, no cruzamento com a R. de Matos, a sul da estação Pedras Rubras	Ocorrência consistente. A intensidade do ruído ambiente aparenta ser baixo, pois esta rua está cortada ao trânsito rodoviário, existindo apenas trânsito ciclo-pedonal.

Essencialmente devido à baixa intensidade do ruído ambiente, optou-se pelo local CMP3.

4.4. RUÍDO AMBIENTE

Neste estudo, e porque se procura destacar os ruídos das fontes patológicas para que possam ser estudados e caracterizados, a definição de Ruído Ambiente difere um pouco dos cânones da acústica de exterior.

Assim, para este estudo, o Ruído Ambiente é igualmente quantificado num índice medido em longa duração e em unidade dB(A), mas inclui todos os ruídos com exceção do ruído das passagens dos veículos do metro, bem como os ruídos das fontes patológicas em estudo.

Importa assim reter, para a boa leitura do presente documento, que o Ruído Ambiente medido neste estudo não inclui a passagem de veículos do metro.

Importa também referir que as medições ocorreram durante os períodos de medição dos ruídos de fonte patológica, tendo sido captadas nos intervalos entre passagem de veículos.

5

MEDIÇÃO DOS RUÍDOS DE FONTES PATOLÓGICAS

5.1. O QUE MEDIR

Tal como referido anteriormente, o objectivo das medições é o de destacar os ruídos de fonte patológica, para permitir o seu estudo e caracterização.

Nesse sentido realizou-se uma campanha de medições de níveis sonoros por bandas de terços de oitava, com sonómetro, que incluiu os ruídos de fonte patológica e o ruído ambiente em cada um dos locais estudados.

Deve ser notado que nos casos dos ruídos de fonte patológica que ocorrem com a passagem dos veículos, seria ideal poder realizar medições das passagens com e sem ocorrência do ruído de fonte patológica. Infelizmente tal não é possível, quer por razões físicas ou orçamentais.

5.1.1. MEDIÇÃO DE RUÍDO AMBIENTE

Como mencionado no Capítulo 4.4., o conceito de Ruído Ambiente neste estudo não inclui o ruído de passagem de veículos do metro, e por isso estas medições foram recolhidas nos períodos entre passagem dos veículos. Devido à frequência dessas passagens, mesmo em dias não úteis, na maioria dos locais não foi possível medir mais do que 3 a 5 minutos seguidos.

Assim, fizeram-se várias medições de forma fragmentada, com as durações o mais longas possível e posteriormente calculou-se a média logarítmica dos níveis sonoros, ponderada com a duração de cada medição. A fórmula usada é:

$$L_{eq} = 10 \times \log_{10} \left[\frac{\sum_i \left(10^{\left(\frac{L_i}{10} \right)} \times t_i \right)}{\sum_i t_i} \right] \quad (1)$$

Em que L_i - nível sonoro da medição i , em deciBel

t_i - duração da medição i , em segundos

5.1.2. MEDIÇÃO DE RUÍDOS DE FONTE PATOLÓGICA

Para a medição destes ruídos, optou-se pela medição durante o tempo de emergência do ruído, permitindo assim uma recolha de dados mais pura relativamente às características do ruído, em particular as características tonais, uma vez que a medição foi feita em bandas de terço de oitava.

O tempo de emergência de um ruído, t_{emerg} , define-se como o espaço de tempo desde que o ruído em estudo emerge do ruído ambiente até que nele imerge novamente.

Define-se ainda o nível sonoro equivalente medido durante o tempo de emergência, como L_{emerg} .

O seguinte gráfico mostra estes dois conceitos.

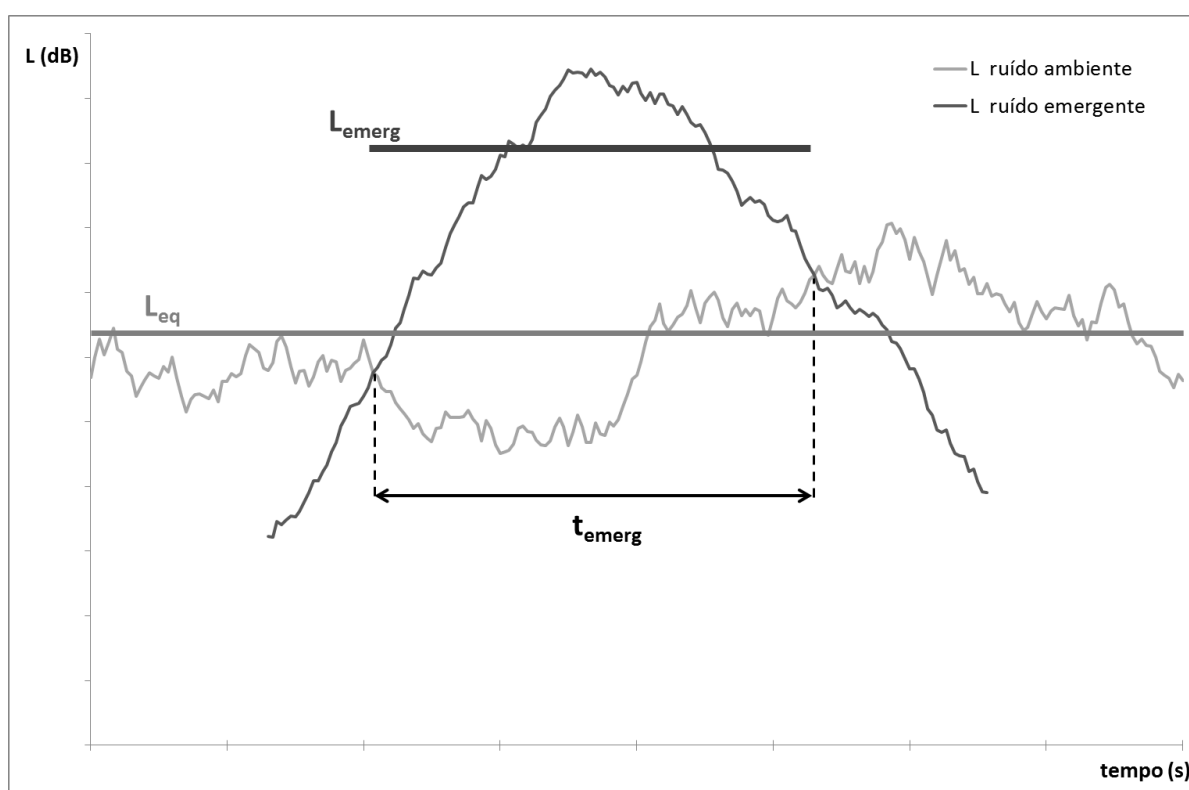


Fig.5.1 – Tempo de emergência e Nível sonoro de emergência

Importa ainda clarificar que nos casos em que este ruído ocorre separadamente nas duas vias do traçado do metro do porto, foram feitas medições em separado, para caracterizar cada uma delas.

5.2. COMO MEDIR

5.2.1. EQUIPAMENTO

Para realizar as medições, foi utilizado um sonómetro integrador da marca 01dB Metravib, modelo Blue Solo, com transdutor de Classe 1 de precisão, propriedade do NI&DEA.

O sonómetro foi montado num tripé, a 1,5 metros de altura e o mais próximo possível do carril, sem invadir o canal dedicado do metro, mantendo assim a distância de segurança essencial.



Fig.5.2 – Sonómetro utilizado na campanha de medições

5.2.2. IN SITU

Todas as medições foram realizadas em dias em que o céu se apresentava limpo ou pouco nublado, vento fraco ou nulo e o pavimento estava seco.

Procurou-se também que as medições fossem realizadas em dias de menor actividade humana, como fins-de-semana e feriados, para potenciar a probabilidade de ter ruído ambiente mais baixo, permitindo com isso que os ruídos de fonte patológica melhor se destaquem.

5.2.3. CRITÉRIOS PARA REJEIÇÃO DE MEDIÇÕES

Nas medições para ruído ambiente, o autor procurou passar despercebido, para evitar ser abordado pela curiosidade de transeuntes.

Já nas medições de ruídos de fontes patológicas, gerados na passagem dos veículos do metro do porto, foi importante estabelecer atempadamente contacto visual com os condutores dos veículos, para transmitir a mensagem de que o autor estava consciente da aproximação do veículo.

Nos casos em que o contacto visual se estabeleceu já com o veículo a poucos metros, resultou quase invariavelmente no condutor accionar a campainha de aviso do metro, causando motivo para rejeição da medição.

Tal como neste caso descrito, em todos os casos em que a presença do sonómetro e do autor foi motivo directo ou indirecto de alteração do campo sonoro, a medição foi rejeitada.

5.3. PONTO 1 – RUÍDO *CURVE SQUEAL*

O Ponto 1 corresponde ao local SQ1 indicado no Capítulo 4.3.1. e situa-se no concelho do Porto.

As coordenadas do local são 41°10'42.8"N, 8°36'21.4"W.

As medições foram realizadas no dia 19/10/2016, dia útil, ao final da tarde.

Na imagem satélite seguinte, retirada do software *Google Earth*, apresenta-se o local, a envolvente e os dois postos do sonómetro onde foram realizadas as medições.

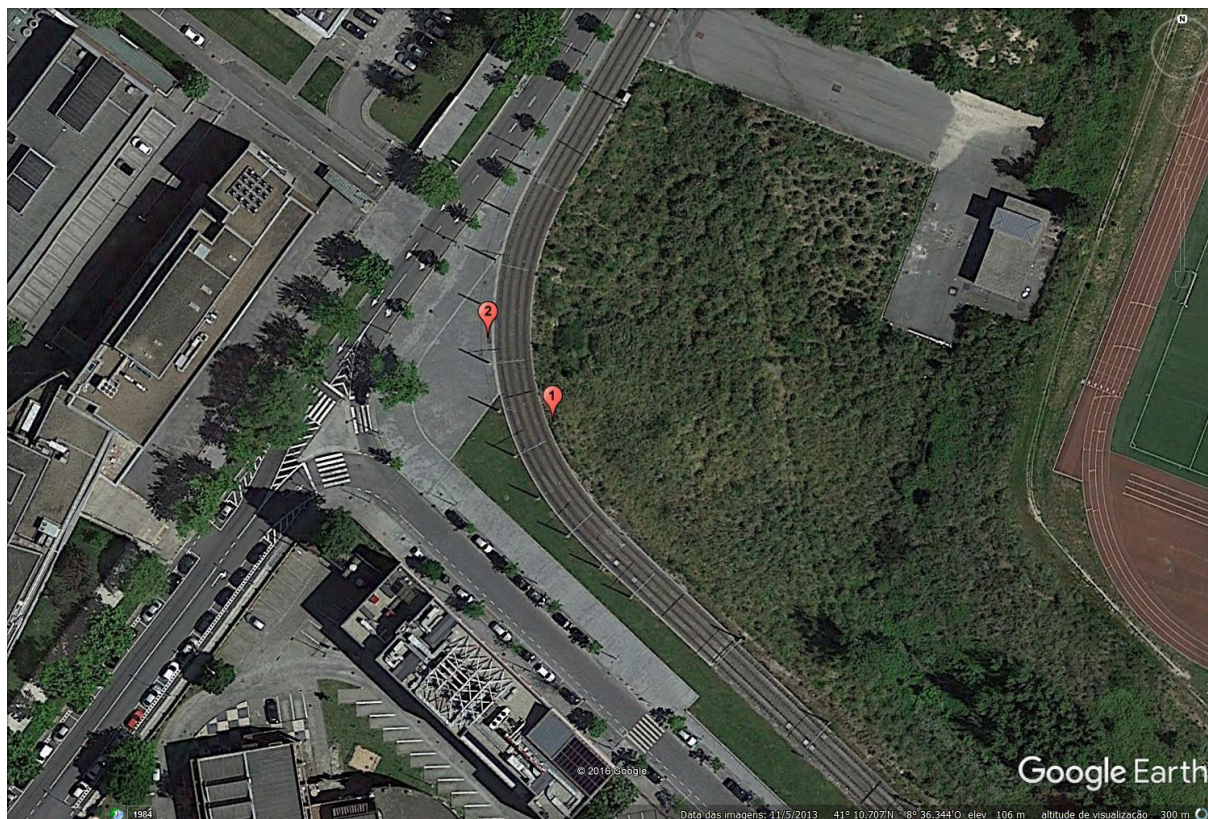


Fig.5.3 – Ponto 1, Postos de medição

A Via 1 da linha de metro tem o sentido Pólo Universitário – IPO.

No posto 1 foi medido o Ruído de Fonte Patológica gerado na Via 1.

No posto 2 foram medidos o Ruído de Fonte Patológica gerado na Via 2 e o Ruído Ambiente.

O Relatório de Medições, encontra-se no Anexo 1 deste documento.

5.5. PONTO 3 – ANÚNCIOS INFORMATIVOS NAS ESTAÇÕES

O Ponto 3 corresponde ao local indicado no Capítulo 4.3.4. e situa-se no concelho de Matosinhos.

As coordenadas do local são 41°11'02.1"N, 8°41'29.9"W.

As medições foram realizadas no dia 08/12/2016, feriado nacional, durante o meio e final da tarde.

Na imagem satélite seguinte, retirada do software *Google Earth*, apresenta-se o local, a envolvente e o posto do sonómetro onde foram realizadas as medições.



Fig.5.5 – Ponto 3, Posto de medição

No posto indicado foram medidos o Ruído de Fonte Patológica e o Ruído Ambiente.

O Relatório de Medições, encontra-se no Anexo 1 deste documento.

5.6. PONTO 4 – DEFEITO NA JUNTA DE SOLDADURA DO CARRIL

O Ponto 4 corresponde ao local indicado no Capítulo 4.3.3. e situa-se no concelho de Matosinhos.

As coordenadas do local são 41°10'56.8"N, 8°41'24.2"W.

As medições foram realizadas no dia 28/12/2016, dia útil na semana entre Natal e Ano Novo, durante o final da tarde.

Na imagem satélite seguinte, retirada do software *Google Earth*, apresenta-se o local, a envolvente e os dois postos do sonómetro onde foram realizadas as medições.



Fig.5.6 – Ponto 4, Postos de medição

A Via 1 da linha de metro tem o sentido Matosinhos Sul – Brito Capelo.

No posto 1 foi medido o Ruído de Fonte Patológica gerado na Via 1 e o Ruído Ambiente.

No posto 2 foram medidos o Ruído de Fonte Patológica gerado na Via 2 e o Ruído Ambiente.

O Relatório de Medições, encontra-se no Anexo 1 deste documento.

5.7. PONTO 5 – CAMPAINHA EM ATRAVESSAMENTOS DE NÍVEL

O Ponto 5 corresponde ao local indicado no Capítulo 4.3.5. e situa-se no concelho da Maia.

As coordenadas do local são 41°14'36.2"N, 8°39'36.5"W.

As medições foram realizadas no dia 08/12/2016, feriado nacional, durante o início da tarde.

Na imagem satélite seguinte, retirada do software *Google Earth*, apresenta-se o local, a envolvente e o posto do sonómetro onde foram realizadas as medições.



Fig.5.7 – Ponto 5, Posto de medição

No posto indicado foram medidos o Ruído de Fonte Patológica e o Ruído Ambiente.

O Relatório de Medições, encontra-se no Anexo 1 deste documento.

5.8. PONTO 6 – CORRUGAÇÃO DO CARRIL

O Ponto 6 corresponde ao local indicado no Capítulo 4.3.2. e situa-se no concelho de Matosinhos.

As coordenadas do local são $41^{\circ}11'28.0''\text{N}$, $8^{\circ}39'18.8''\text{W}$.

As medições foram realizadas no dia 28/12/2016, dia útil na semana entre Natal e Ano Novo, durante o final da manhã e início e meio da tarde.

Na imagem satélite seguinte, retirada do software *Google Earth*, apresenta-se o local, a envolvente e os dois postos do sonómetro onde foram realizadas as medições.



Fig.5.8 – Ponto 6, Postos de medição

A Via 1 da linha de metro tem o sentido Sra. Da Hora – Fonte do Cuco.

No posto 1 foi medido o Ruído de Fonte Patológica gerado na Via 1 e o Ruído Ambiente.

No posto 2 foram medidos o Ruído de Fonte Patológica gerado na Via 2.

O Relatório de Medições, encontra-se no Anexo 1 deste documento.



Fig.5.9 – Ponto 6, Posto 1 de medição

6

RESULTADOS E ANÁLISE

6.1. INTRODUÇÃO

A campanha de medições realizada trouxe consigo dezenas de ficheiros de resultados, que requereram tratamento para posterior análise.

Começou-se por importar todos os resultados dos ficheiros do sonómetro para folhas de cálculo do software *Excel* e criaram-se novas folhas para combinar os resultados seleccionados e que importam para o presente estudo. Esses resultados foram depois tratados para elaborar as tabelas apresentadas nos subcapítulos seguintes e criados elementos gráficos para representação visual dos resultados.

Finalmente, e com o apoio do projecto NI&DEA, foram elaborados mapas de ruído de cada um dos locais onde foram realizadas as medições, no sentido de simular o impacto de cada ruído de fonte patológica estudado, na envolvente. O software usado para o efeito foi o *Cadna A* e os dados introduzidos vêm das medições efectuadas para este estudo, e também de valores anteriormente adquiridos pelo NI&DEA em trabalhos técnicos já realizados.

São ainda calculados mapas com o agravamento de nível sonoro devido às fontes patológicas. Cada um destes mapas resulta da diferença entre o mapa com todas as fontes sonoras activas, incluindo a fonte patológica respectiva, e o mapa com todas as fontes sonoras activas excepto a fonte patológica respectiva.

Para facilidade de leitura e comparação entre diferentes tipos de ruído em cada um dos locais, optou-se por juntar no Anexo 2 deste documento, os vários mapas de ruído elaborados, deixando nos subcapítulos seguintes imagens representativas dos mesmos.

6.2. PONTO 1 - RUÍDO CURVE SQUEAL

6.2.1. RUÍDO AMBIENTE

Análise Estatística

Apresentam-se de seguida a tabela e gráfico com os parâmetros que representam o Ruído Ambiente no local Ponto 1, na data e intervalo de tempo de recolha das medições.

Quadro 6.1 – Parâmetros estatísticos, P1, RA

Medição	Duração (s)	LA _{eq} (dBA)	LA _{min} (dBA)	LA ₉₅ (dBA)	LA ₅₀ (dBA)	LA ₅ (dBA)	LA _{máx} (dBA)
1	90	63,6	58,2	60,5	63,4	66,2	75,2
2	90	62,8	58,0	58,9	61,7	65,9	71,6
3	65	63,4	57,8	58,3	62,6	66,6	67,1
4	73	60,7	54,5	55,5	60,6	62,5	63,7
5	134	61,2	55,2	56,6	60,4	64,6	65,6

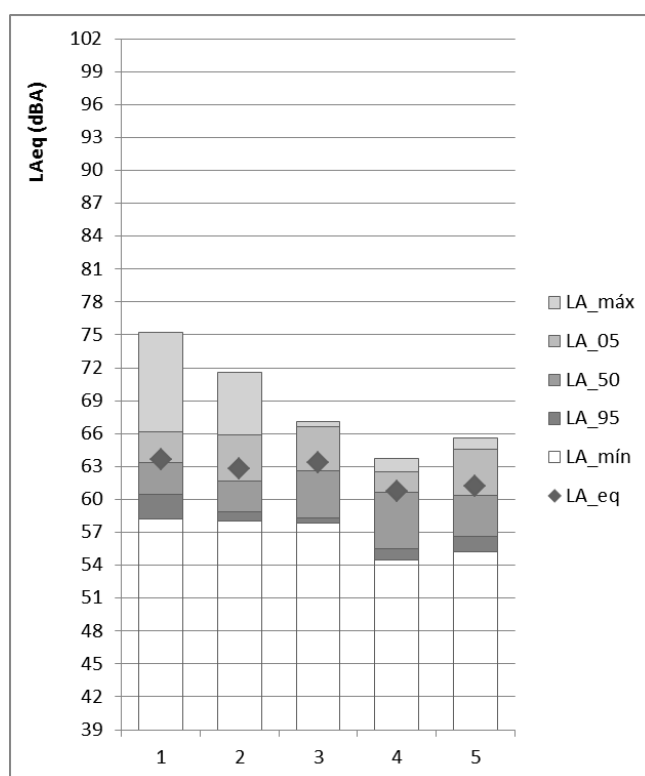


Fig.6.1 – Parâmetros estatísticos, P1, RA

Análise por Bandas de Frequência

Apresenta-se a seguir a média ponderada em tempo, da totalidade das medições realizadas, em relação ao espectro de frequências discretizadas em bandas de terço de oitava.

Quadro 6.2 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P1, RA

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{eq} Ruído Amb (dBA)
12,5	56,5	-63,4	-6,9
16	57,5	-56,7	0,8
20	57,8	-50,5	7,3
25	62,6	-44,7	17,9
31,5	63,5	-39,4	24,1
40	64,5	-34,6	29,9
50	66,2	-30,2	36,0
63	65,3	-26,2	39,1
80	63,4	-22,5	40,9
100	61,0	-19,1	41,9
125	58,8	-16,1	42,7
160	56,9	-13,4	43,5
200	55,9	-10,9	45,0
250	56,0	-8,6	47,4
315	54,1	-6,6	47,5
400	52,6	-4,8	47,8
500	53,8	-3,2	50,6
630	55,2	-1,9	53,3
800	55,4	-0,8	54,6
1.000	54,6	0,0	54,6
1.250	52,5	0,6	53,1
1.600	50,7	1,0	51,7
2.000	48,2	1,2	49,4
2.500	44,7	1,3	46,0
3.150	42,2	1,2	43,4
4.000	39,1	1,0	40,1

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{eq} Ruído Amb (dBA)
5.000	36,1	0,5	36,6
6.300	33,5	-0,1	33,4
8.000	31,0	-1,1	29,9
10.000	26,7	-2,5	24,2
12.500	23,5	-4,3	19,2
16.000	19,2	-6,6	12,6
20.000	21,9	-9,3	12,6
Total =	73,7		62,3

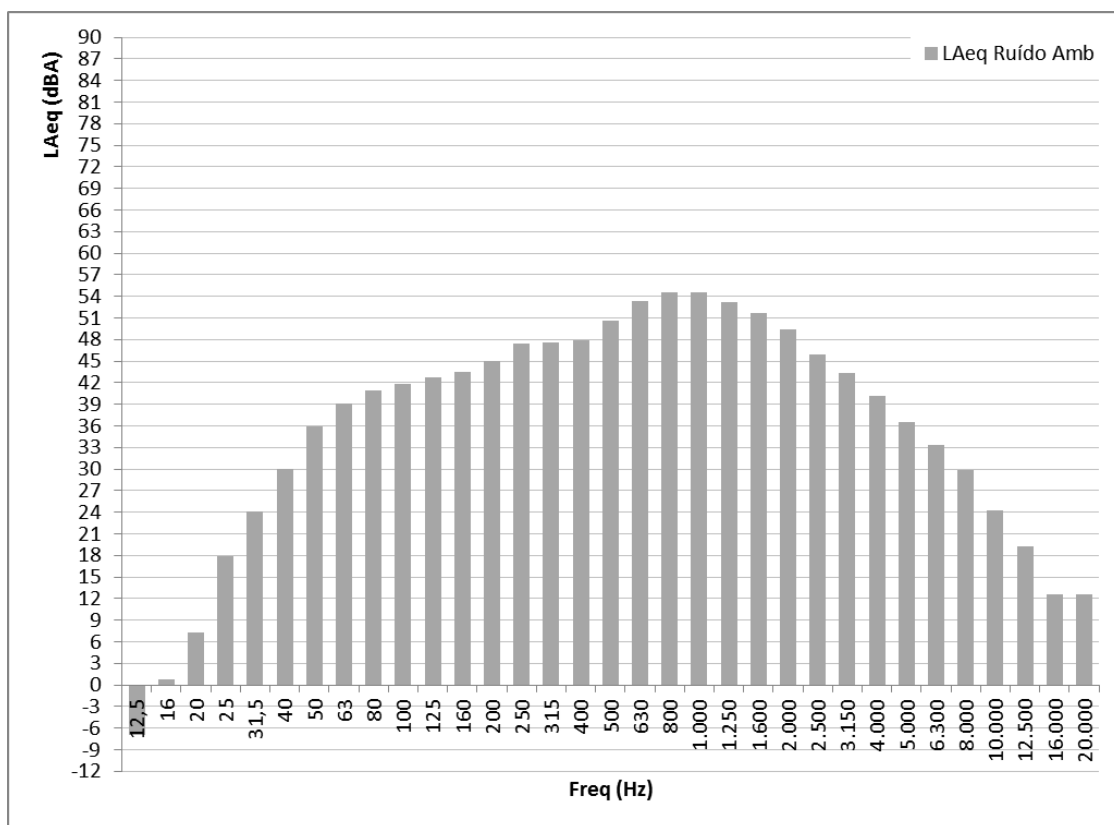


Fig.6.2 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P1, RA

6.2.2. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA NA VIA 1

Análise Estatística

Apresenta-se de seguida a tabela e gráfico com os parâmetros que representam o Ruído de Fonte Patológica da Via 1 (sentido Pólo Universitário - IPO) no local Ponto 1, na data e intervalo de tempo de recolha das medições.

Quadro 6.3 – Parâmetros estatísticos, P1, RFP, V1

Medição	Duração (s)	LA _{eq} (dBA)	LA _{mín} (dBA)	LA ₉₅ (dBA)	LA ₅₀ (dBA)	LA ₅ (dBA)	LA _{máx} (dBA)
1	18	87,8	60,2	63,1	80,7	95,0	95,5
2	18	81,5	59,6	65,1	75,0	90,6	92,6
3	16	85,0	61,3	67,2	78,7	91,3	91,5

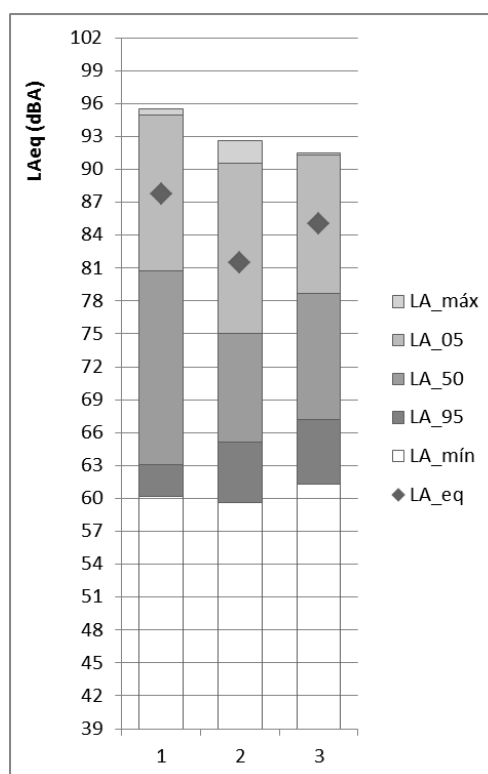


Fig.6.3 – Parâmetros estatísticos, P1, RFP, V1

Análise por Bandas de Frequência

Apresenta-se a seguir a média ponderada em tempo, da totalidade das medições realizadas, em relação ao espectro de frequências discretizadas em bandas de terço de oitava.

Quadro 6.4 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P1, RFP, V1

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica na Via 1 (dBA)
12,5	65,9	-63,4	2,5
16	68,0	-56,7	11,3
20	66,7	-50,5	16,2
25	68,0	-44,7	23,3
31,5	71,5	-39,4	32,1
40	75,2	-34,6	40,6
50	75,0	-30,2	44,8
63	72,0	-26,2	45,8
80	69,3	-22,5	46,8
100	68,4	-19,1	49,3
125	70,3	-16,1	54,2
160	70,5	-13,4	57,1
200	70,2	-10,9	59,3
250	67,0	-8,6	58,4
315	65,5	-6,6	58,9
400	68,4	-4,8	63,6
500	68,1	-3,2	64,9
630	69,9	-1,9	68,0
800	70,1	-0,8	69,3
1.000	65,9	0,0	65,9
1.250	63,0	0,6	63,6
1.600	75,1	1,0	76,1
2.000	82,5	1,2	83,7
2.500	65,2	1,3	66,5
3.150	64,6	1,2	65,8
4.000	67,4	1,0	68,4

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica na Via 1 (dBA)
5.000	67,0	0,5	67,5
6.300	66,7	-0,1	66,6
8.000	74,3	-1,1	73,2
10.000	68,4	-2,5	65,9
12.500	65,6	-4,3	61,3
16.000	59,6	-6,6	53,0
20.000	57,1	-9,3	47,8
Total =	86,8		85,5

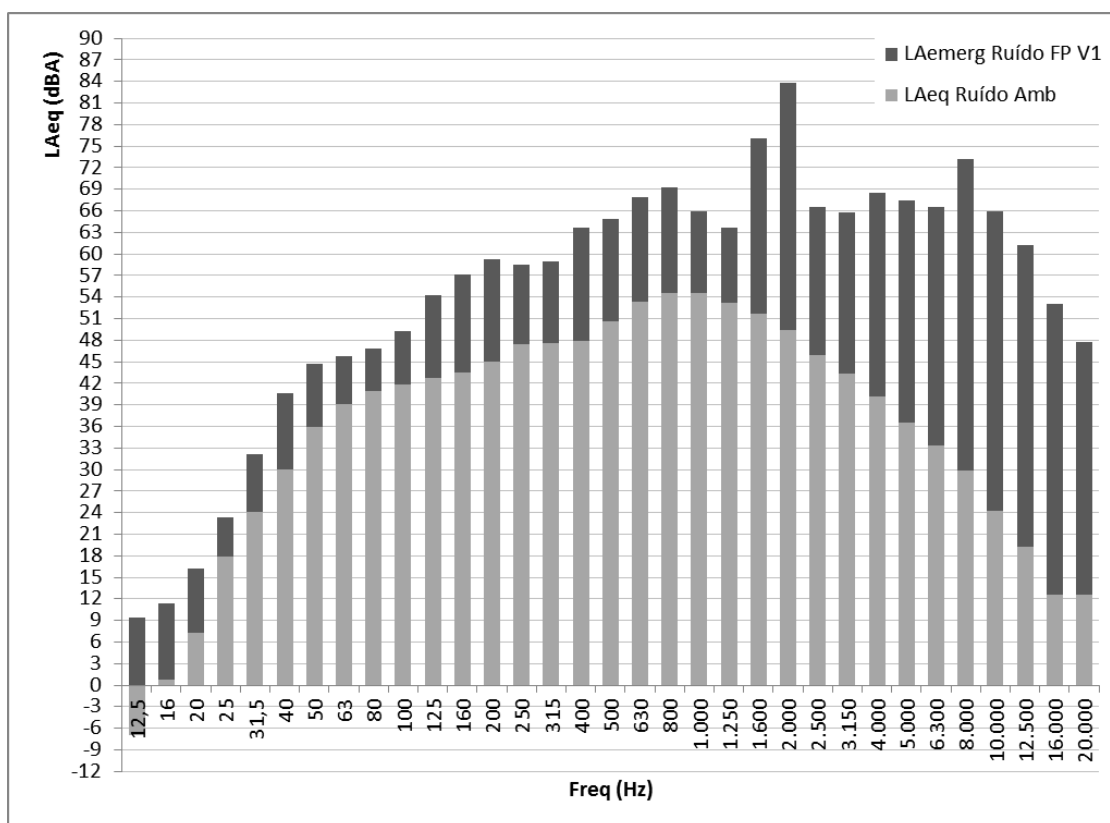


Fig.6.4 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P1, RFP, V1

6.2.3. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA NA VIA 2

Análise Estatística

Apresenta-se de seguida a tabela e gráfico com os parâmetros que representam o Ruído de Fonte Patológica da Via 2 (sentido IPO - Pólo Universitário) no local Ponto 1, na data e intervalo de tempo de recolha das medições.

Quadro 6.5 – Parâmetros estatísticos, P1, RFP, V2

Medição	Duração (s)	LA _{eq} (dBA)	LA _{mín} (dBA)	LA ₉₅ (dBA)	LA ₅₀ (dBA)	LA ₅ (dBA)	LA _{máx} (dBA)
1	19	71,2	63,2	63,7	70,9	73,8	75,4
2	20	72,9	59,6	62,7	70,8	80,8	82,5
3	19	71,1	59,6	61,0	70,6	74,2	74,8

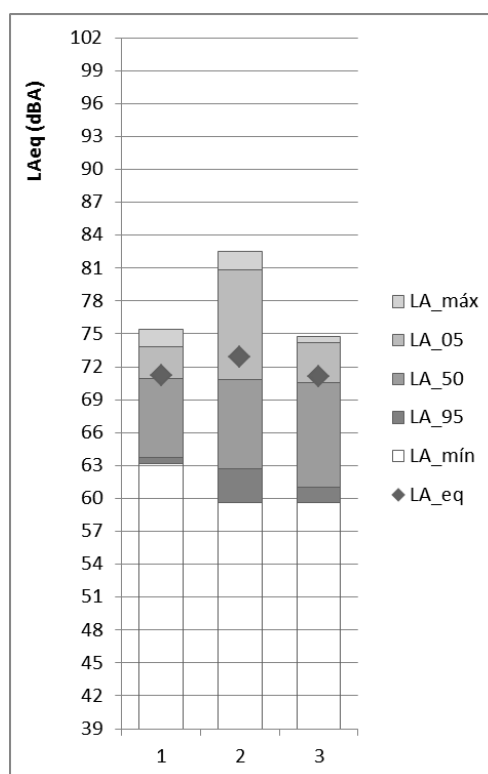


Fig.6.5 – Parâmetros estatísticos, P1, RFP, V2

Análise por Bandas de Frequência

Apresenta-se a seguir a média ponderada em tempo, da totalidade das medições realizadas, em relação ao espectro de frequências discretizadas em bandas de terço de oitava.

Quadro 6.6 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P1, RFP, V2

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica na Via 1 (dBA)
12,5	65,1	-63,4	1,7
16	66,0	-56,7	9,3
20	65,7	-50,5	15,2
25	67,5	-44,7	22,8
31,5	71,0	-39,4	31,6
40	69,6	-34,6	35,0
50	71,6	-30,2	41,4
63	68,9	-26,2	42,7
80	67,1	-22,5	44,6
100	69,3	-19,1	50,2
125	67,8	-16,1	51,7
160	68,0	-13,4	54,6
200	67,5	-10,9	56,6
250	64,3	-8,6	55,7
315	64,2	-6,6	57,6
400	66,5	-4,8	61,7
500	64,2	-3,2	61,0
630	65,1	-1,9	63,2
800	66,8	-0,8	66,0
1.000	61,1	0,0	61,1
1.250	57,7	0,6	58,3
1.600	56,3	1,0	57,3
2.000	56,8	1,2	58,0
2.500	53,1	1,3	54,4
3.150	51,8	1,2	53,0
4.000	50,7	1,0	51,7

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica na Via 1 (dBA)
5.000	48,9	0,5	49,4
6.300	45,7	-0,1	45,6
8.000	46,5	-1,1	45,4
10.000	45,2	-2,5	42,7
12.500	42,4	-4,3	38,1
16.000	37,4	-6,6	30,8
20.000	34,4	-9,3	25,1
Total =	80,6		71,7

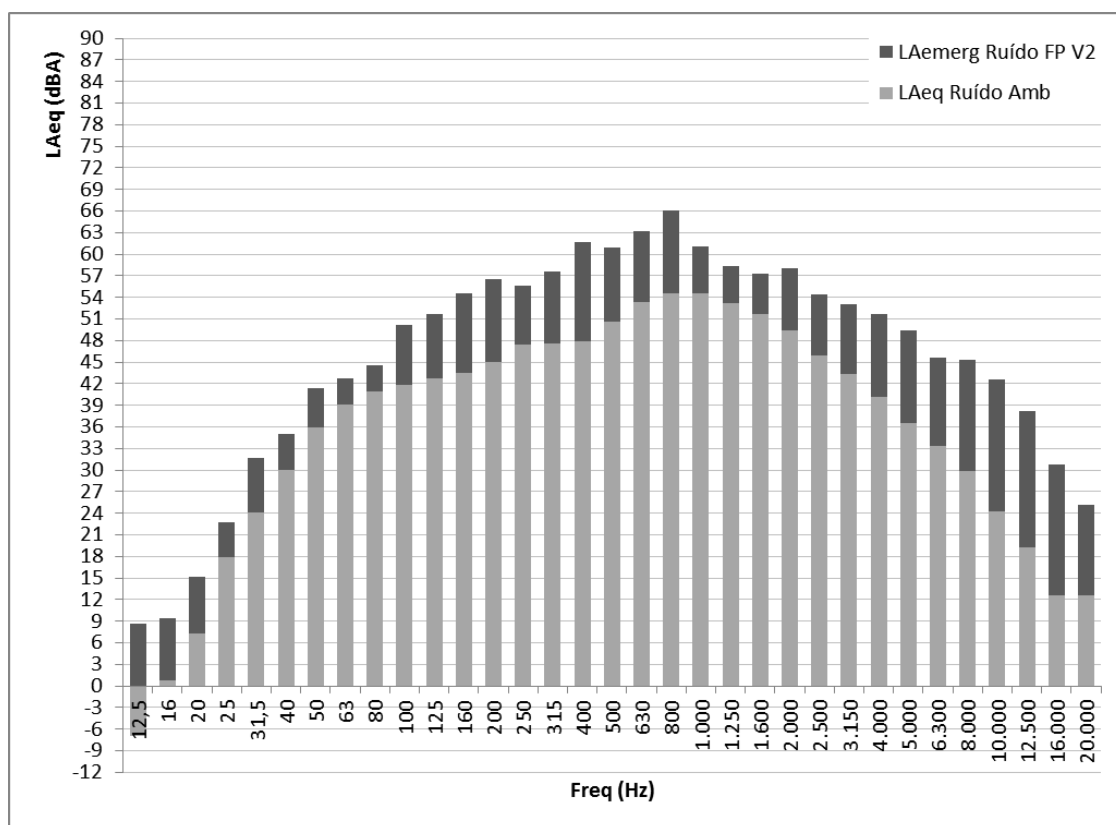


Fig.6.6 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P1, RFP, V2

6.2.4. MAPAS DE RUÍDO

Neste subcapítulo apresentam-se os mapas de ruído elaborados para o Ponto 1.

Quadro 6.7 – Mapas de Ruído do Ponto 1

ID	
P1.RA	Simulação do Ruído Ambiente medido.
P1.RA.M	Simulação do Ruído Ambiente medido, adicionado da simulação do ruído de passagem de veículos do metro, sem fontes patológicas.
P1.RA.M.FPV1	Representa o mesmo de P1.RA.M, adicionado do Ruído de Fonte Patológica gerado na Via 1.
P1.RA.M.FPV2	Representa o mesmo de P1.RA.M, adicionado do Ruído de Fonte Patológica gerado na Via 2.
P1 Dif.FPV1	Representa o agravamento de nível sonoro pela Fonte Patológica gerado na Via 1.
P1 Dif.FPV2	Representa o agravamento de nível sonoro pela Fonte Patológica gerado na Via 2.

Os mapas de ruídos apresentados mostram o impacto do ruído das fontes patológicas na paisagem sonora envolvente.

No Ponto 1, a fonte patológica na Via 1 gera um ruído que agrava de forma significativa os níveis sonoros da envolvente e transforma o mapa final.

Na Via 2 o agravamento é mais subtil, uma vez que para simular a fonte patológica, são considerados os valores médios das medições. No entanto, nesta fonte, o ruído é intermitente, mas quando existe tem um valor elevado nas bandas de terço de oitava respectivas. Este efeito não aparece no mapa de ruído.

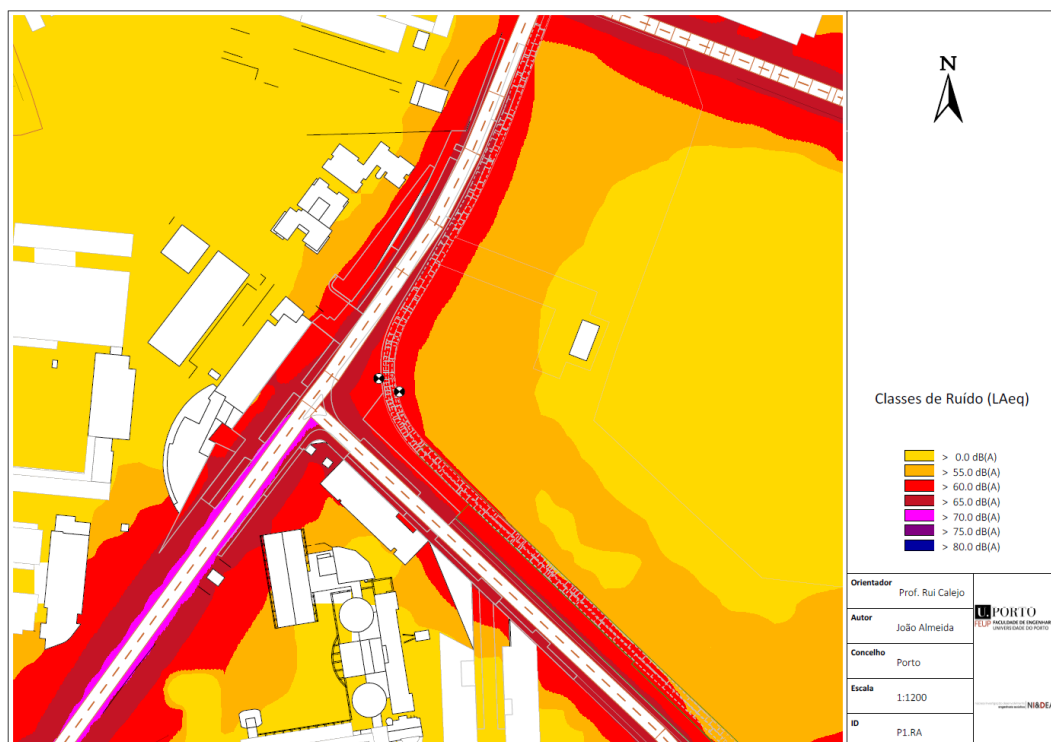


Fig.6.7 – Mapa de Ruído P1.RA

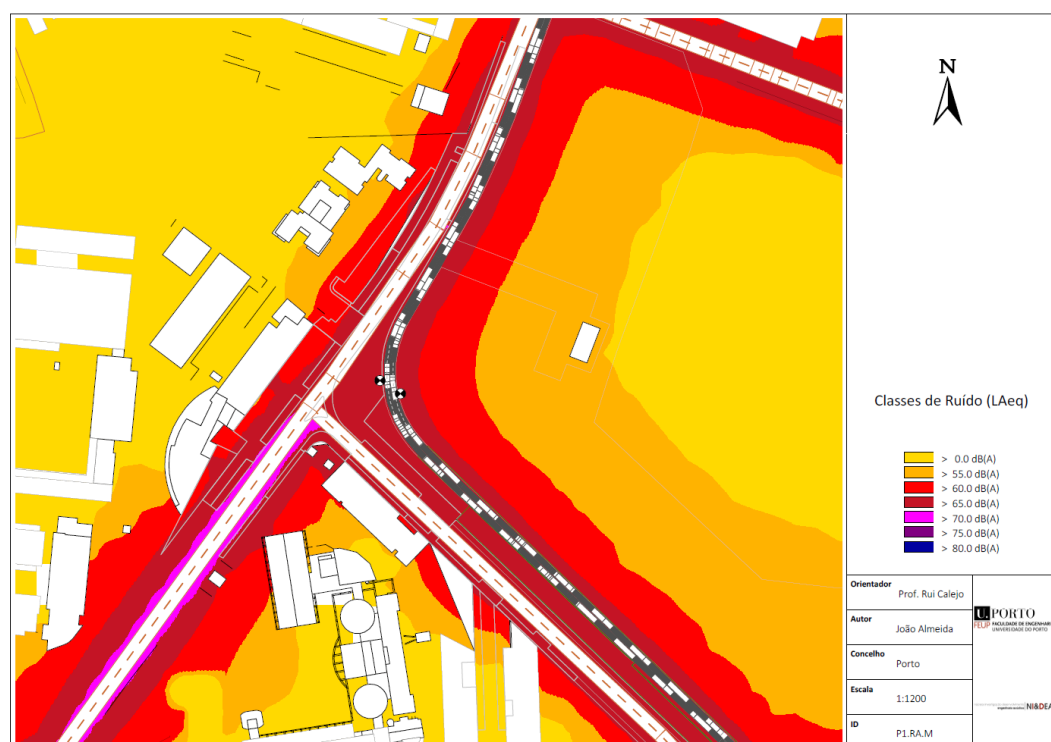


Fig.6.8 – Mapa de Ruído P1.RA.M

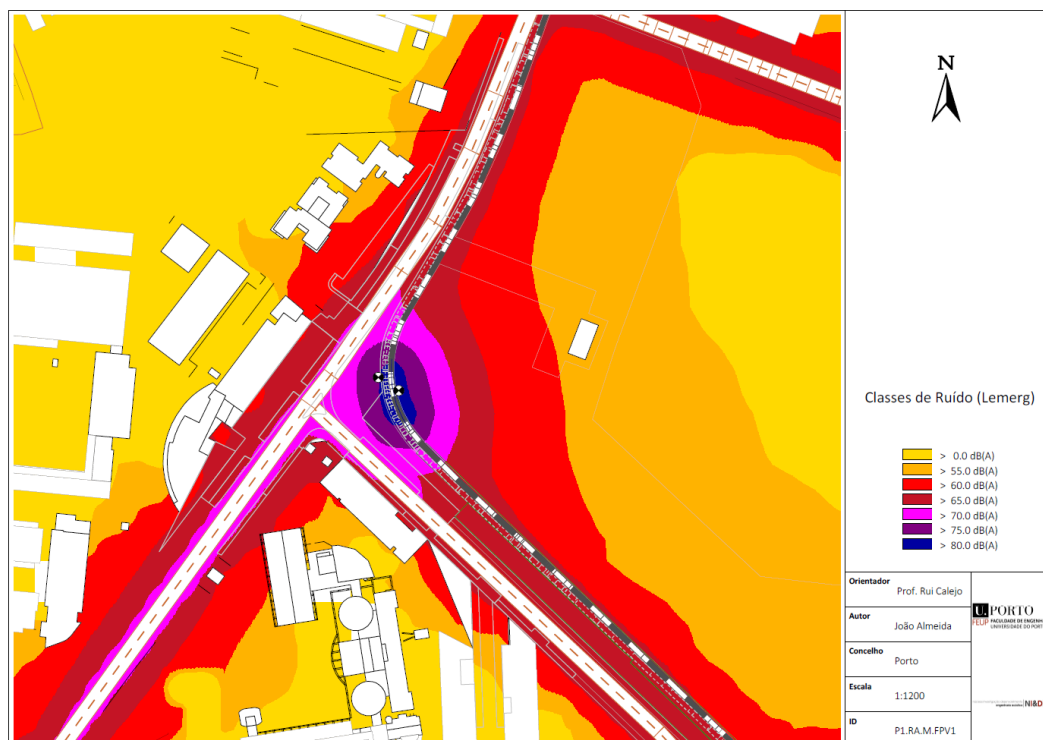


Fig.6.9 – Mapa de Ruído P1.RA.M.FPV1

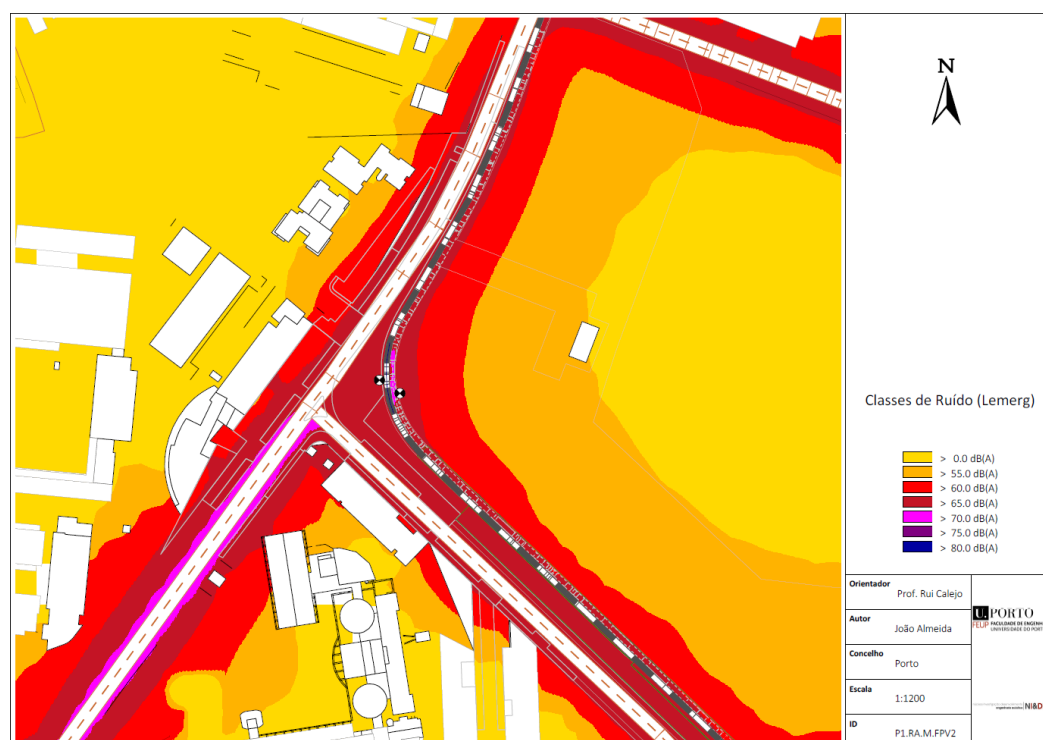


Fig.6.10 – Mapa de Ruído P1.RA.M.FPV2

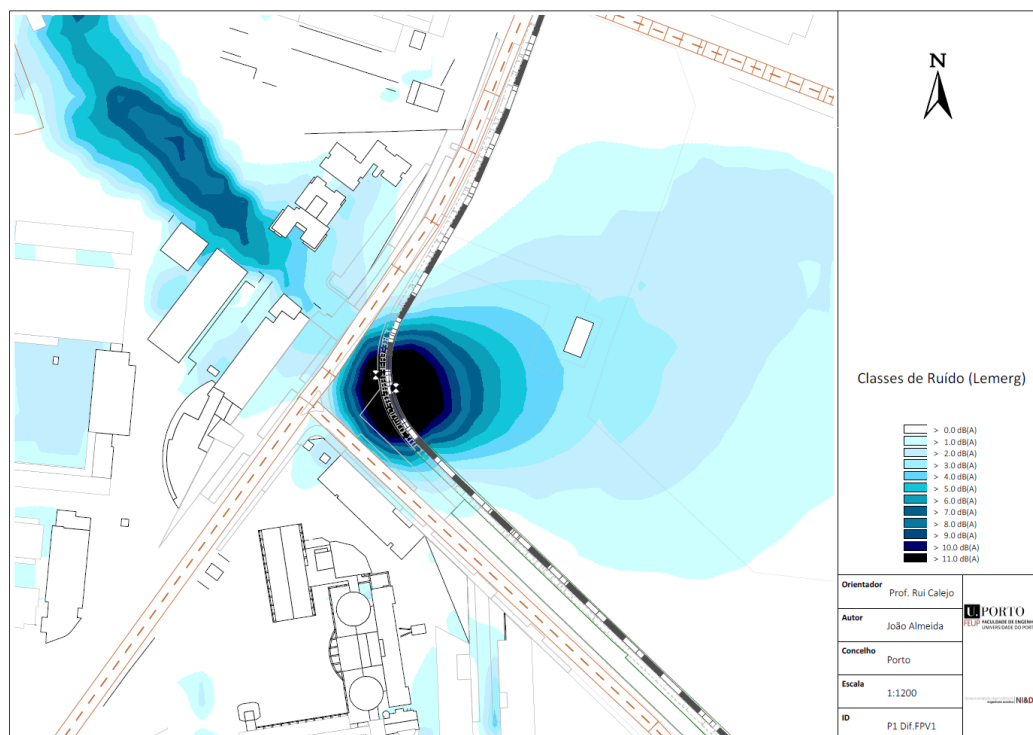


Fig.6.11 – Mapa P1 Dif.FPV1 - Agravamento devido a Fonte Patológica na Via 1

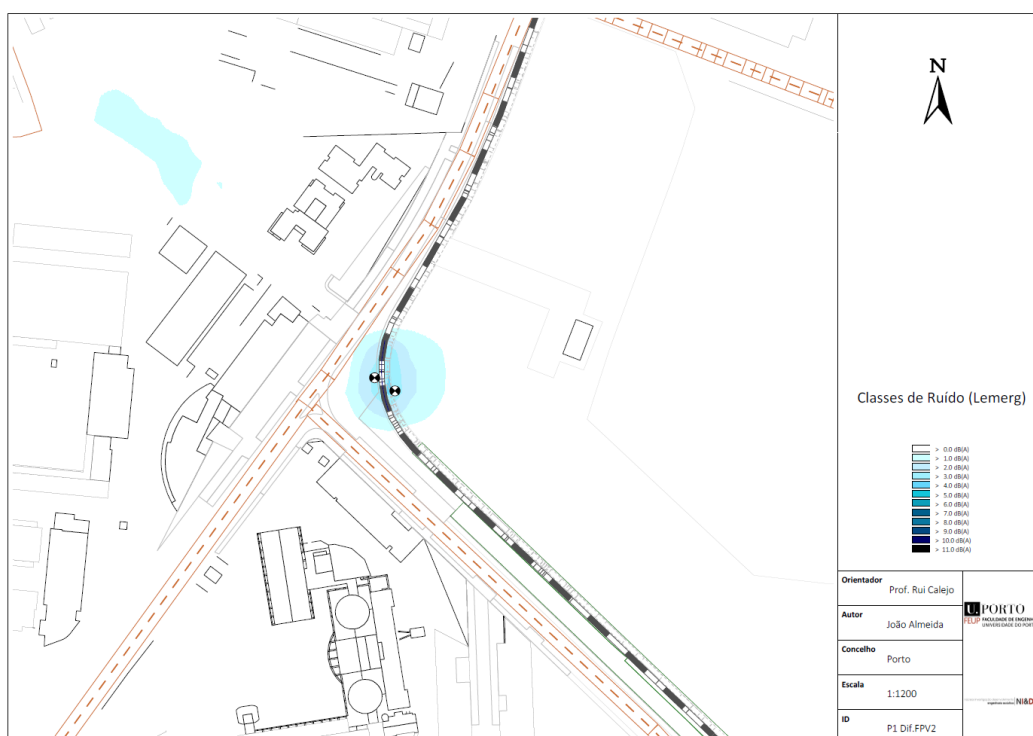


Fig.6.12 – Mapa P1 Dif.FPV2 - Agravamento devido a Fonte Patológica na Via 2

6.3. PONTO 2 - RUÍDO CURVE SQUEAL

6.3.1. RUÍDO AMBIENTE

Análise Estatística

Apresentam-se de seguida a tabela e gráfico com os parâmetros que representam o Ruído Ambiente no local Ponto 2, na data e intervalo de tempo de recolha das medições.

Quadro 6.8 – Parâmetros estatísticos, P2, RA

Medição	Duração (s)	LA _{eq} (dBA)	LA _{mín} (dBA)	LA ₉₅ (dBA)	LA ₅₀ (dBA)	LA ₅ (dBA)	LA _{máx} (dBA)
1	300	60,7	53,3	54,7	58,7	65,0	71,2
2	126	59,5	53,3	55,1	57,9	63,1	68,5
3	242	58,6	52,4	53,9	57,7	61,8	69,5
4	220	60,9	55,0	56,2	59,1	64,9	71,5
5	302	57,7	49,3	51,5	56,6	61,3	66,4
6	113	58,9	51,6	52,2	57,1	62,5	70,2
7	168	63,9	52,4	53,6	58,8	66,8	81,7
8	300	59,4	52,6	54,5	58,1	62,3	75,0
9	300	60,6	51,4	53,2	58,2	65,6	71,3

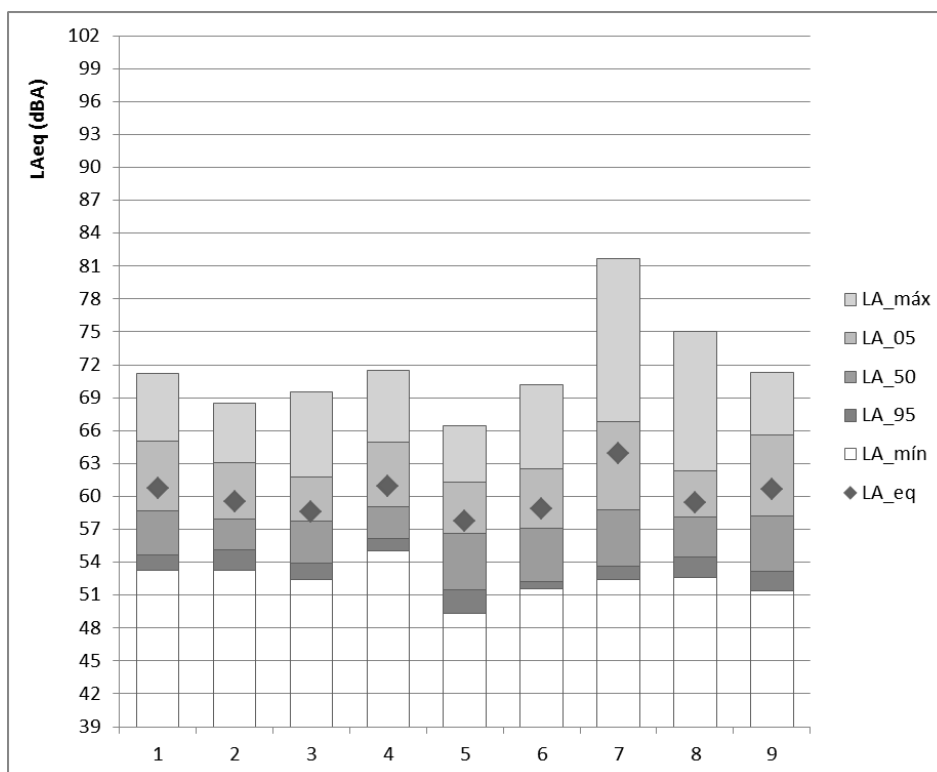


Fig.6.13 – Parâmetros estatísticos, P2, RA

Análise por Bandas de Frequência

Apresenta-se a seguir a média ponderada em tempo, da totalidade das medições realizadas, em relação ao espectro de frequências discretizadas em bandas de terço de oitava.

Quadro 6.9 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P2, RA

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{eq} Ruído Amb (dBA)
12,5	60,3	-63,4	-3,1
16	62,6	-56,7	5,9
20	62,1	-50,5	11,6
25	66,2	-44,7	21,5
31,5	65,8	-39,4	26,4
40	65,0	-34,6	30,4
50	66,8	-30,2	36,6
63	65,4	-26,2	39,2
80	64,3	-22,5	41,8
100	59,8	-19,1	40,7
125	58,9	-16,1	42,8
160	57,5	-13,4	44,1
200	57,2	-10,9	46,3
250	55,8	-8,6	47,2
315	55,2	-6,6	48,6
400	53,2	-4,8	48,4
500	52,5	-3,2	49,3
630	52,7	-1,9	50,8
800	52,2	-0,8	51,4
1.000	51,1	0,0	51,1
1.250	49,1	0,6	49,7
1.600	46,6	1,0	47,6
2.000	44,9	1,2	46,1
2.500	43,0	1,3	44,3
3.150	40,8	1,2	42,0
4.000	37,7	1,0	38,7

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{eq} Ruído Amb (dBA)
5.000	35,1	0,5	35,6
6.300	31,1	-0,1	31,0
8.000	27,8	-1,1	26,7
10.000	23,1	-2,5	20,6
12.500	20,3	-4,3	16,0
16.000	13,9	-6,6	7,3
20.000	12,1	-9,3	2,8
Total =	74,9		60,2

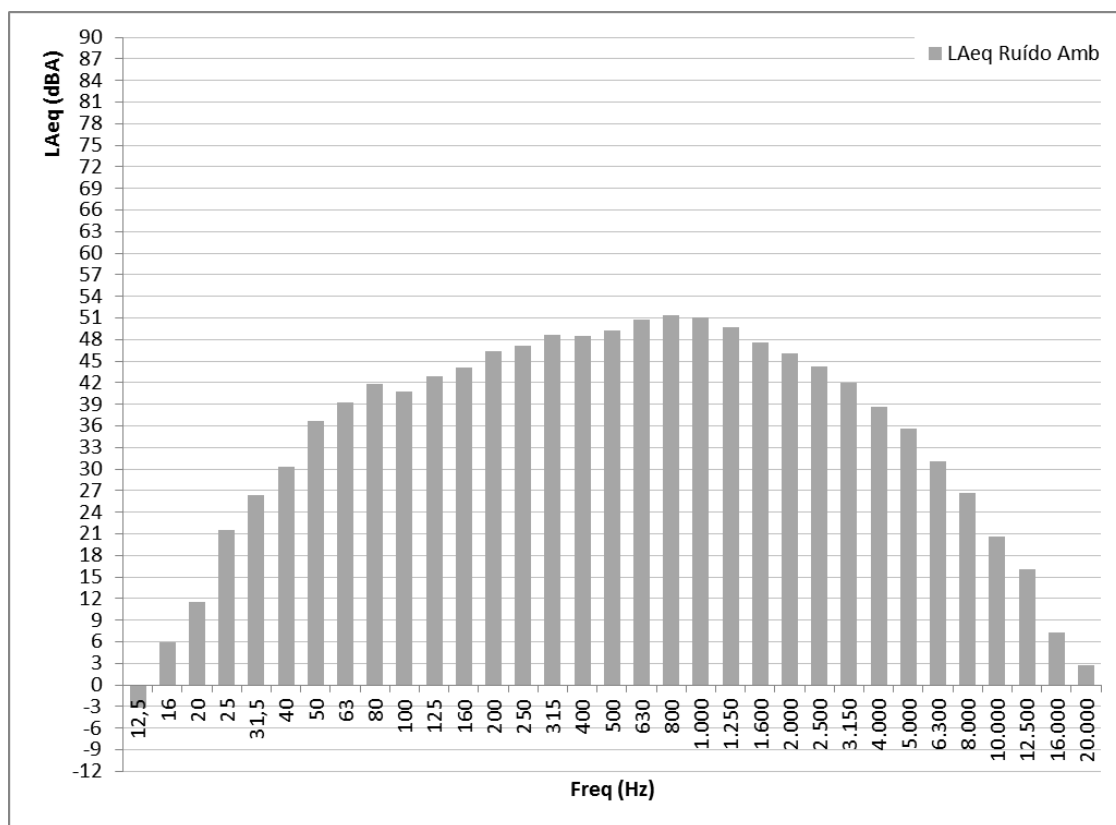


Fig.6.14 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P2, RA

Evolução do LAeq no tempo

No sentido de aferir a consistência das medições do Ruído Ambiente, apresenta-se um gráfico representando o LAeq de cada medição em função do tempo, e a evolução do LAeq acumulado.

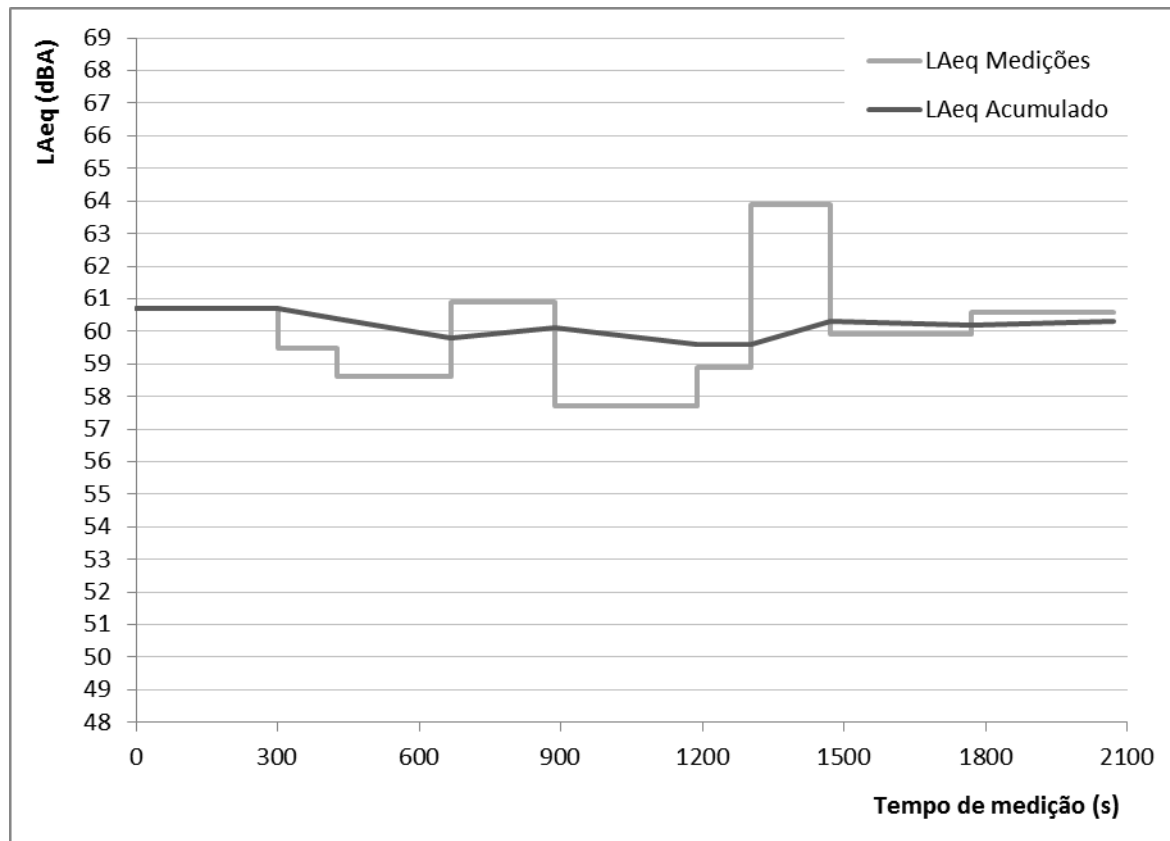


Fig.6.15 – Evolução do LAeq em função do tempo de medição, P2, RA

6.3.2. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA NA VIA 1

Análise Estatística

Apresenta-se de seguida a tabela e gráfico com os parâmetros que representam o Ruído de Fonte Patológica da Via 1 (sentido Brito Capelo - Mercado) no local Ponto 2, na data e intervalo de tempo de recolha das medições.

Quadro 6.10 – Parâmetros estatísticos, P2, RFP, V1

Medição	Duração (s)	LA _{eq} (dBA)	LA _{mín} (dBA)	LA ₉₅ (dBA)	LA ₅₀ (dBA)	LA ₅ (dBA)	LA _{máx} (dBA)
1	30	83,8	53,4	54,9	61,8	88,3	97,4
2	20	83,4	57,3	58,6	68,6	92,0	95,5
3	17	71,8	58,7	60,9	70,5	75,7	78,7
4	22	76,6	58,4	60,5	70,0	82,1	89,6
5	22	83,8	58,2	60,7	67,3	91,7	95,3
6	22	75,8	60,5	60,6	68,8	79,6	88,0
7	26	86,7	57,1	57,8	65,1	91,3	101,7
8	19	72,9	59,6	61,8	71,6	77,8	78,7
9	21	69,7	61,3	61,6	68,1	73,8	84,0

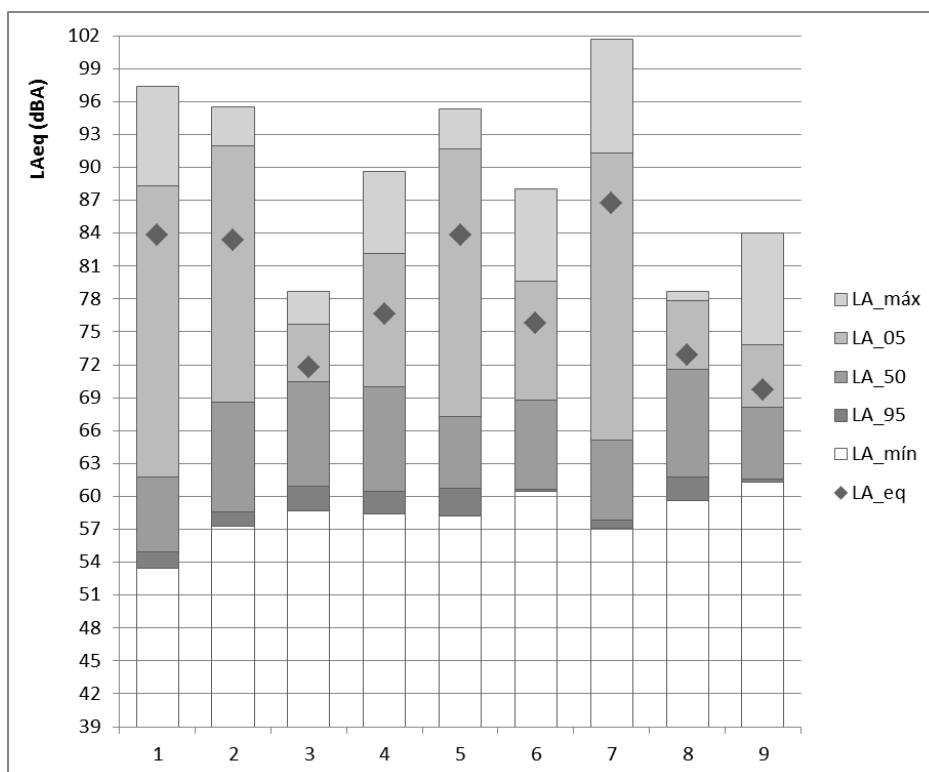


Fig.6.16 – Parâmetros estatísticos, P2, RFP, V1

Análise por Bandas de Frequência

Apresenta-se a seguir a média ponderada em tempo, da totalidade das medições realizadas, em relação ao espectro de frequências discretizadas em bandas de terço de oitava.

Quadro 6.11 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P2, RFP, V1

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica na Via 1 (dBA)
12,5	66,0	-63,4	2,6
16	67,5	-56,7	10,8
20	69,8	-50,5	19,3
25	73,1	-44,7	28,4
31,5	73,7	-39,4	34,3
40	72,6	-34,6	38,0
50	72,5	-30,2	42,3
63	68,5	-26,2	42,3
80	67,6	-22,5	45,1
100	67,4	-19,1	48,3
125	67,2	-16,1	51,1
160	68,3	-13,4	54,9
200	67,2	-10,9	56,3
250	64,3	-8,6	55,7
315	63,8	-6,6	57,2
400	65,0	-4,8	60,2
500	62,6	-3,2	59,4
630	79,1	-1,9	77,2
800	79,3	-0,8	78,5
1.000	60,7	0,0	60,7
1.250	58,2	0,6	58,8
1.600	61,6	1,0	62,6
2.000	70,5	1,2	71,7
2.500	57,0	1,3	58,3
3.150	57,2	1,2	58,4
4.000	55,2	1,0	56,2

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica na Via 1 (dBA)
5.000	52,8	0,5	53,3
6.300	49,4	-0,1	49,3
8.000	47,6	-1,1	46,5
10.000	44,0	-2,5	41,5
12.500	39,4	-4,3	35,1
16.000	34,9	-6,6	28,3
20.000	34,0	-9,3	24,7
Total =	85,2		81,7

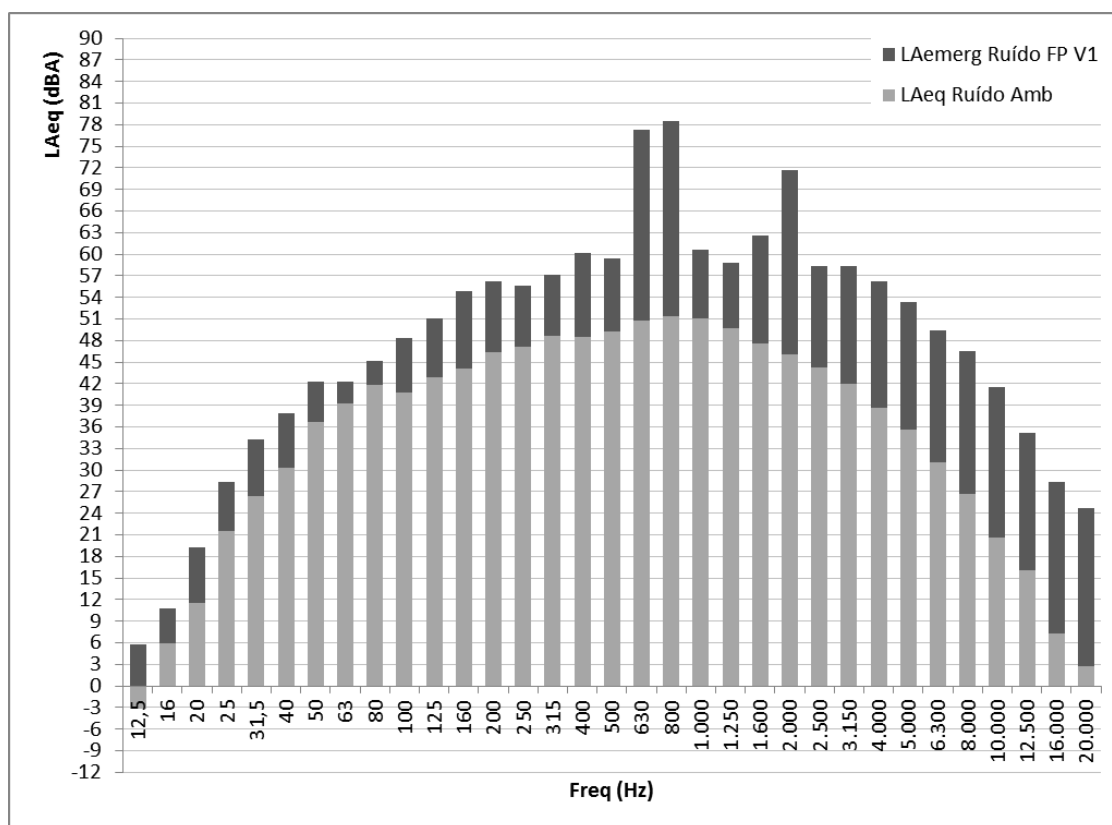


Fig.6.17 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P2, RFP, V1

6.3.3. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA NA VIA 2

Análise Estatística

Apresenta-se de seguida a tabela e gráfico com os parâmetros que representam o Ruído de Fonte Patológica da Via 2 (sentido Mercado – Brito Capelo) no local Ponto 2, na data e intervalo de tempo de recolha das medições.

Quadro 6.12 – Parâmetros estatísticos, P2, RFP, V2

Medição	Duração (s)	LA _{eq} (dBA)	LA _{mín} (dBA)	LA ₉₅ (dBA)	LA ₅₀ (dBA)	LA ₅ (dBA)	LA _{máx} (dBA)
1	21	75,3	61,4	61,8	74,5	78,9	81,0
2	24	81,5	58,8	60,6	68,9	87,4	91,4
3	20	83,0	59,6	60,4	73,6	91,3	92,6
4	23	76,3	59,9	61,1	71,7	81,6	84,6
5	23	76,6	58,0	58,4	70,2	82,7	83,8
6	20	74,7	59,5	61,4	71,9	79,6	82,0
7	19	80,7	60,7	62,3	76,8	87,1	88,1
8	20	82,8	59,1	61,2	73,9	89,4	90,7
9	24	73,2	57,2	58,1	70,2	79,3	80,4
10	18	85,1	60,6	63,7	77,0	92,3	94,7

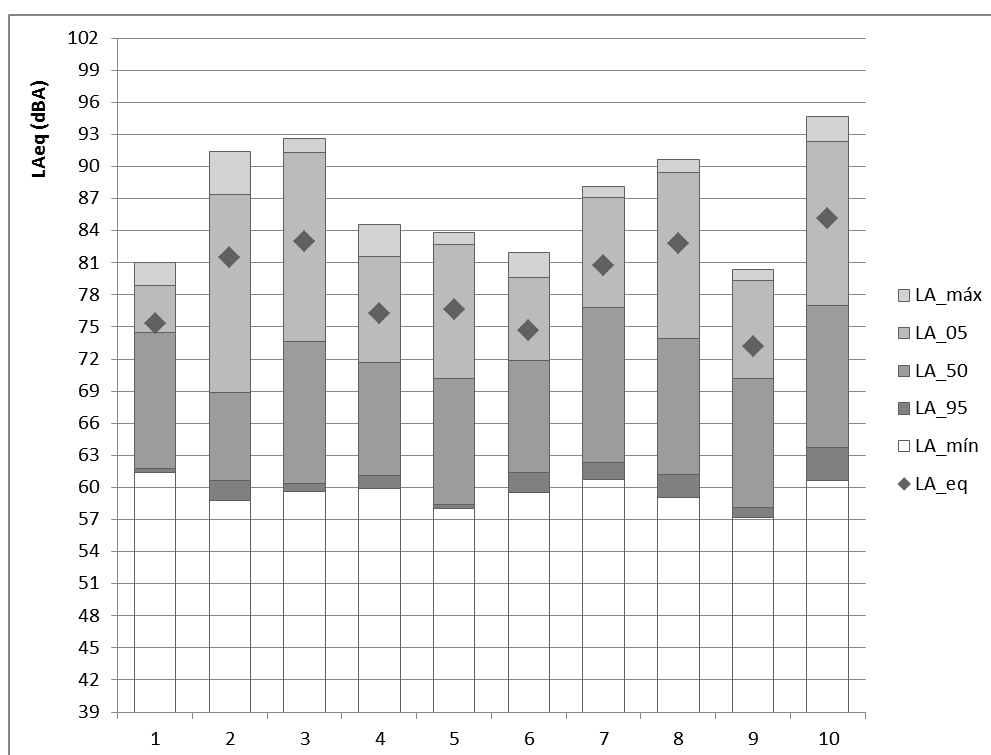


Fig.6.18 – Parâmetros estatísticos, P2, RFP, V2

Análise por Bandas de Frequência

Apresenta-se a seguir a média ponderada em tempo, da totalidade das medições realizadas, em relação ao espectro de frequências discretizadas em bandas de terço de oitava.

Quadro 6.13 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P2, RFP, V2

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica na Via 2 (dBA)
12,5	67,2	-63,4	3,8
16	68,3	-56,7	11,6
20	66,9	-50,5	16,4
25	69,2	-44,7	24,5
31,5	70,7	-39,4	31,3
40	70,8	-34,6	36,2
50	70,1	-30,2	39,9
63	69,3	-26,2	43,1
80	67,6	-22,5	45,1
100	68,2	-19,1	49,1
125	68,4	-16,1	52,3
160	71,5	-13,4	58,1
200	71,3	-10,9	60,4
250	68,8	-8,6	60,2
315	67,4	-6,6	60,8
400	68,7	-4,8	63,9
500	67,9	-3,2	64,7
630	78,4	-1,9	76,5
800	75,5	-0,8	74,7
1.000	65,3	0,0	65,3
1.250	60,9	0,6	61,5
1.600	63,7	1,0	64,7
2.000	71,5	1,2	72,7
2.500	55,5	1,3	56,8
3.150	54,6	1,2	55,8
4.000	54,6	1,0	55,6

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica na Via 2 (dBA)
5.000	51,7	0,5	52,2
6.300	48,2	-0,1	48,1
8.000	48,4	-1,1	47,3
10.000	44,5	-2,5	42,0
12.500	42,1	-4,3	37,8
16.000	38,2	-6,6	31,6
20.000	36,5	-9,3	27,2
Total =	84,3		80,5

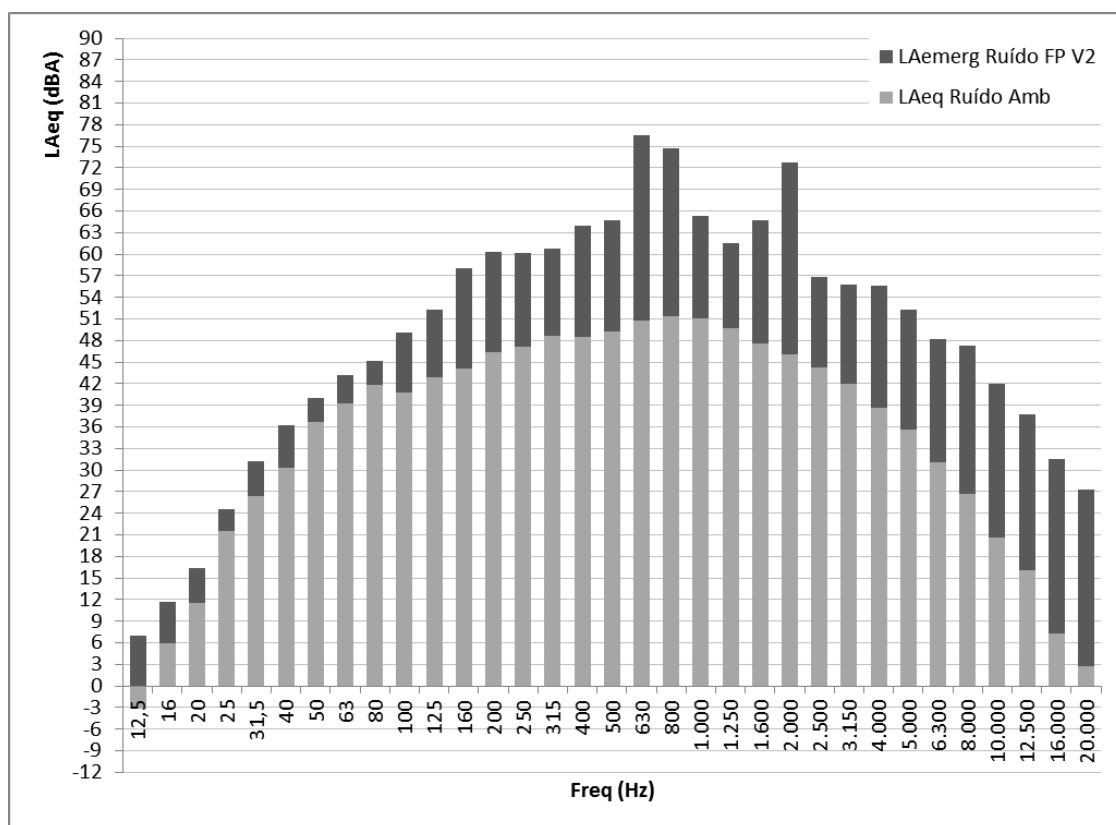


Fig.6.19 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P2, RFP, V2

6.3.4. MAPAS DE RUÍDO

Neste subcapítulo apresentam-se os mapas de ruído elaborados para o Ponto 2.

Quadro 6.14 – Mapas de Ruído do Ponto 2

ID	
P2.RA	Simulação do Ruído Ambiente medido.
P2.RA.M	Simulação do Ruído Ambiente medido, adicionado da simulação do ruído de passagem de veículos do metro, sem fontes patológicas.
P2.RA.M.FPV1	Representa o mesmo de P2.RA.M, adicionado do Ruído de Fonte Patológica gerado na Via 1
P2.RA.M.FPV2	Representa o mesmo de P2.RA.M, adicionado do Ruído de Fonte Patológica gerado na Via 2
P2 Dif.FPV1	Representa o agravamento de nível sonoro pela Fonte Patológica gerado na Via 1.
P2 Dif.FPV2	Representa o agravamento de nível sonoro pela Fonte Patológica gerado na Via 2.

Os mapas de ruídos apresentados mostram o impacto do ruído das fontes patológicas na paisagem sonora envolvente.

No Ponto 2, ambas as fontes patológicas, na Via 1 e na Via 2, geram ruídos que agravam de forma significativa os níveis sonoros da envolvente e transformam os mapas de ruído.

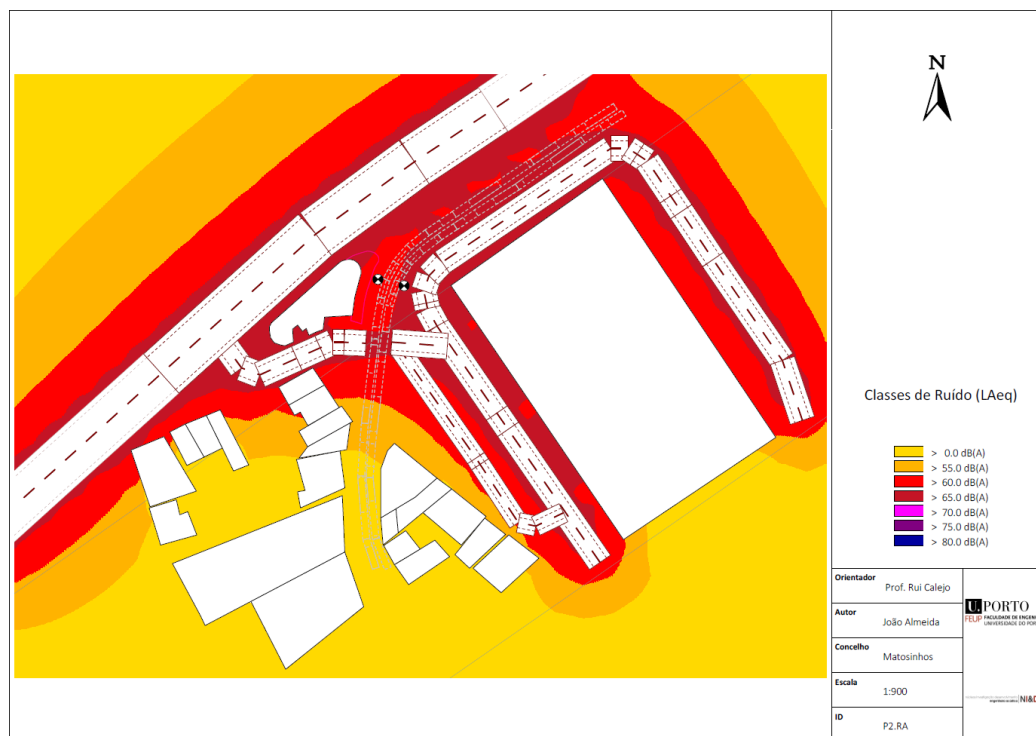


Fig.6.20 – Mapa de Ruído P2.RA

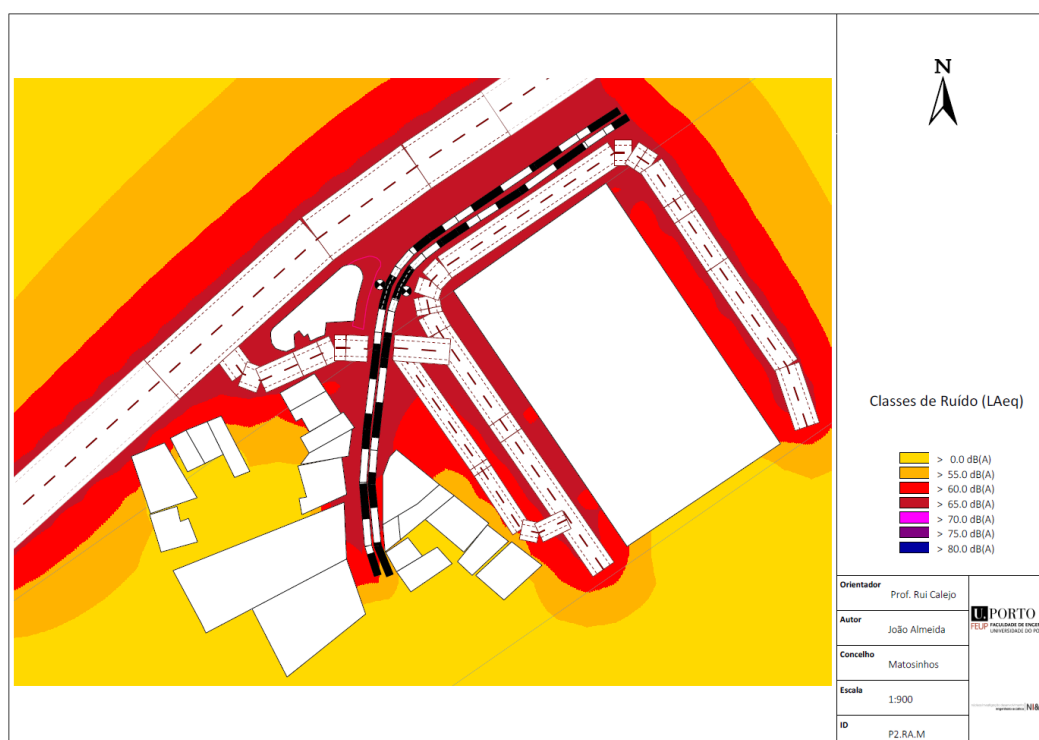


Fig.6.21 – Mapa de Ruído P2.RA.M

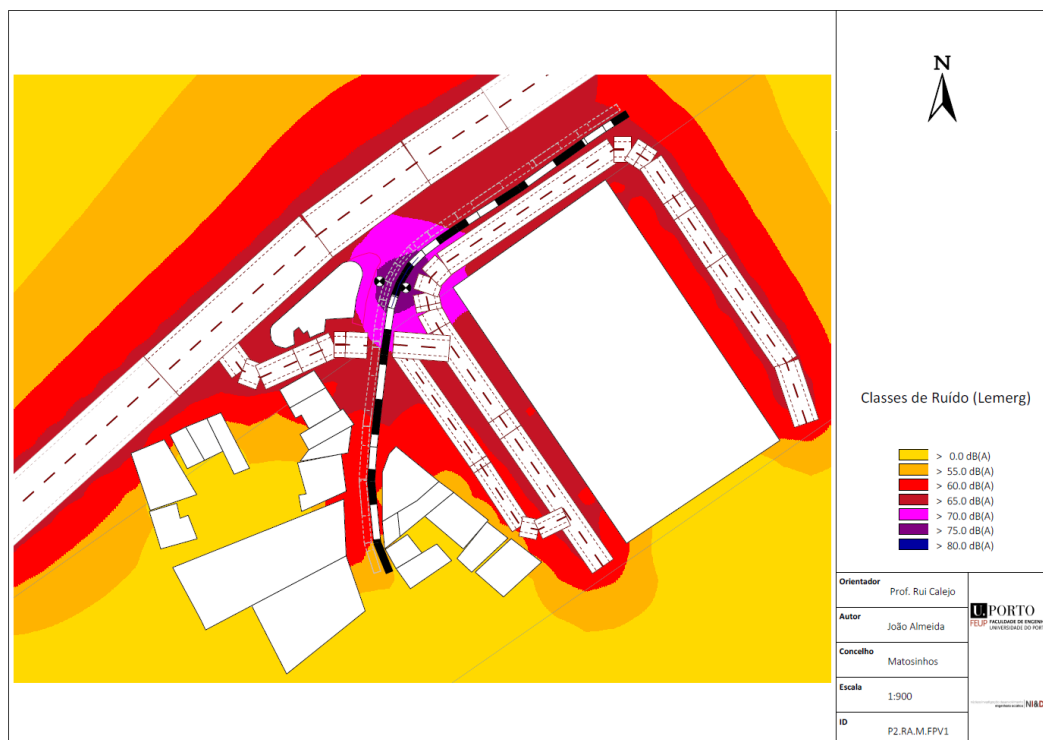


Fig.6.22 – Mapa de Ruído P2.RA.M.FPV1

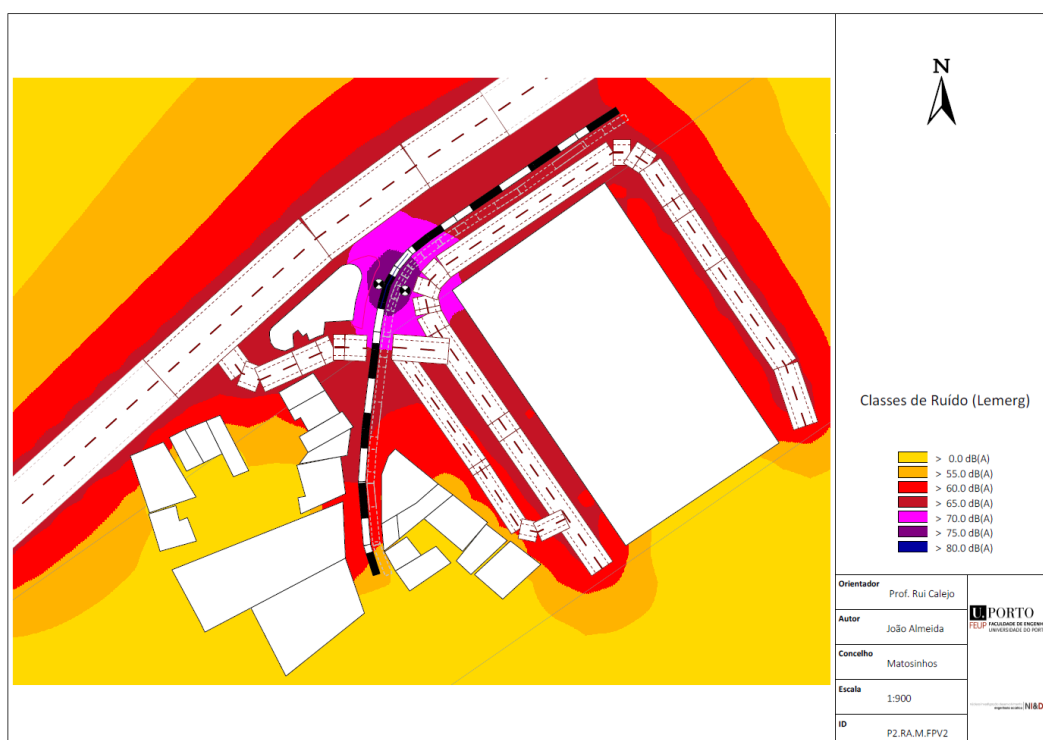


Fig.6.23 – Mapa de Ruído P2.RA.M.FPV2

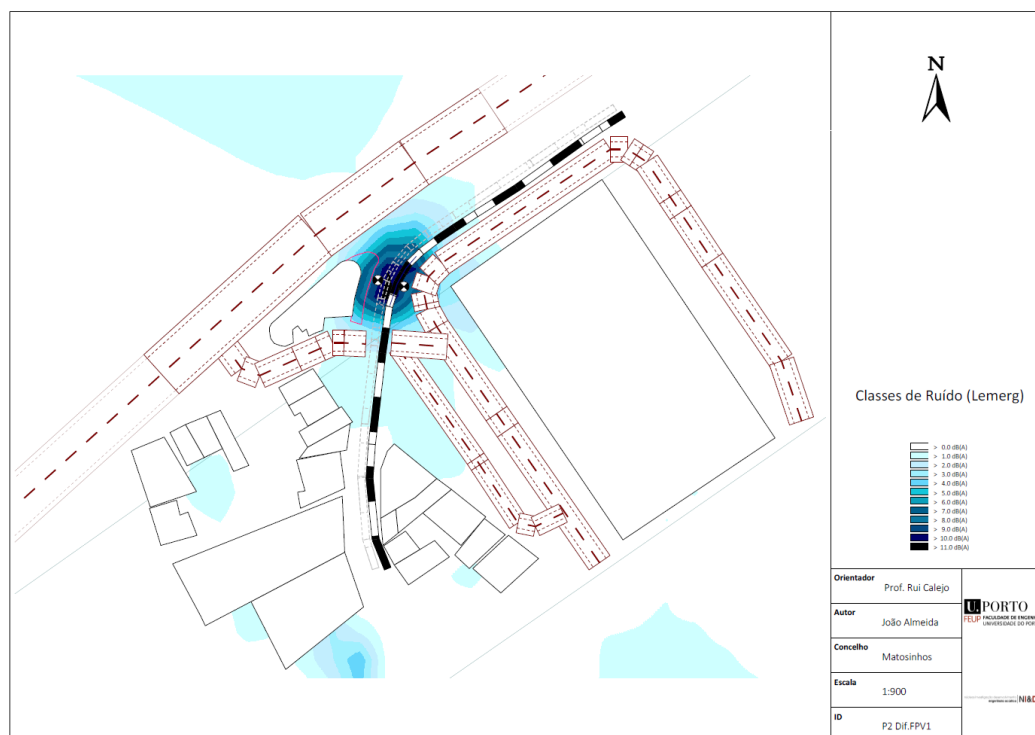


Fig.6.24 – Mapa P2 Dif.FPV1 - Agravamento devido a Fonte Patológica na Via 1

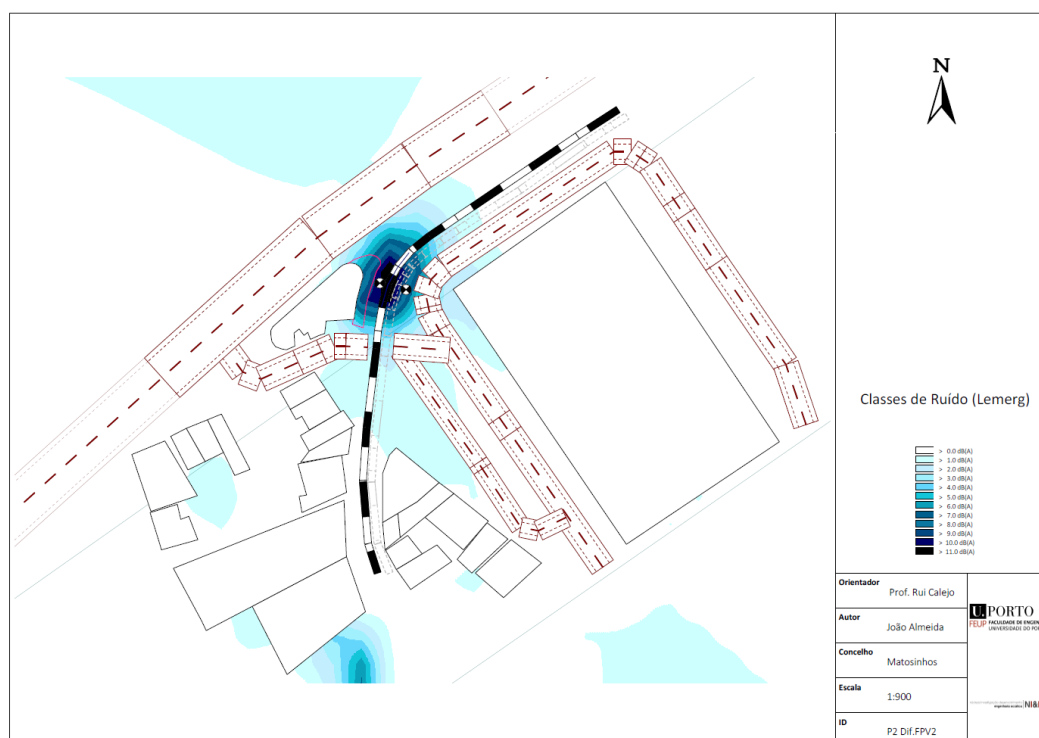


Fig.6.25 – Mapa P2 Dif.FPV2 - Agravamento devido a Fonte Patológica na Via 2

6.4. PONTO 3 - ANÚNCIOS INFORMATIVOS NAS ESTAÇÕES

6.4.1. RUÍDO AMBIENTE

Análise Estatística

Apresentam-se de seguida a tabela e gráfico com os parâmetros que representam o Ruído Ambiente no local Ponto 3, na data e intervalo de tempo de recolha das medições.

Quadro 6.15 – Parâmetros estatísticos, P3, RA

Medição	Duração (s)	LA _{eq} (dBA)	LA _{mín} (dBA)	LA ₉₅ (dBA)	LA ₅₀ (dBA)	LA ₅ (dBA)	LA _{máx} (dBA)
1	99	55,9	50,3	51,6	54,4	59,8	63,3
2	300	55,5	47,9	49,8	54	59,6	63,9
3	248	56,3	47,1	49,3	52,8	60,6	73,6
4	210	54,9	48,2	49,9	53,3	58,6	66,1
5	180	55,6	48,2	49,9	53,7	59,9	64,7
6	121	54,5	47,4	48,9	52,3	59,8	62,9
7	180	56,4	46,2	49,6	54,2	61,4	68,4
8	96	53,5	46,6	48,2	51,9	57,9	60,3
9	180	56	45,4	46,5	50,3	62,7	69,3
10	180	53	46,2	46,9	49,7	58,1	64,2

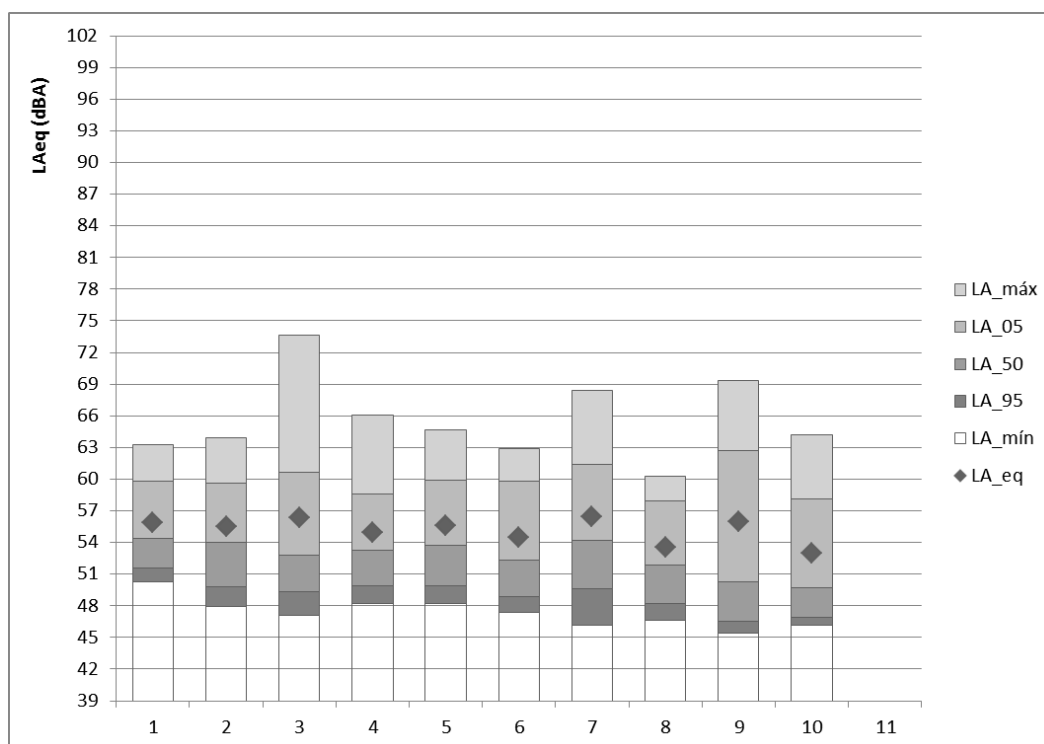


Fig.6.26 – Parâmetros estatísticos, P3, RA

Análise por Bandas de Frequência

Apresenta-se a seguir a média ponderada em tempo, da totalidade das medições realizadas, em relação ao espectro de frequências discretizadas em bandas de terço de oitava.

Quadro 6.16 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P3, RA

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{eq} Ruído Amb (dBA)
12,5	50,1	-63,4	-13,3
16	50,0	-56,7	-6,7
20	48,9	-50,5	-1,6
25	53,0	-44,7	8,3
31,5	51,0	-39,4	11,6
40	53,5	-34,6	18,9
50	55,2	-30,2	25,0
63	52,2	-26,2	26,0
80	51,8	-22,5	29,3
100	52,4	-19,1	33,3
125	49,7	-16,1	33,6
160	49,7	-13,4	36,3
200	48,5	-10,9	37,6
250	48,4	-8,6	39,8
315	47,6	-6,6	41,0
400	48,1	-4,8	43,3
500	48,7	-3,2	45,5
630	48,9	-1,9	47,0
800	47,4	-0,8	46,6
1.000	44,9	0,0	44,9
1.250	43,8	0,6	44,4
1.600	43,3	1,0	44,3
2.000	42,2	1,2	43,4
2.500	40,6	1,3	41,9
3.150	39,6	1,2	40,8
4.000	37,4	1,0	38,4

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{eq} Ruído Amb (dBA)
5.000	35,8	0,5	36,3
6.300	34,6	-0,1	34,5
8.000	32,5	-1,1	31,4
10.000	30,0	-2,5	27,5
12.500	27,0	-4,3	22,7
16.000	22,7	-6,6	16,1
20.000	18,1	-9,3	8,8
Total =	63,9		55,3

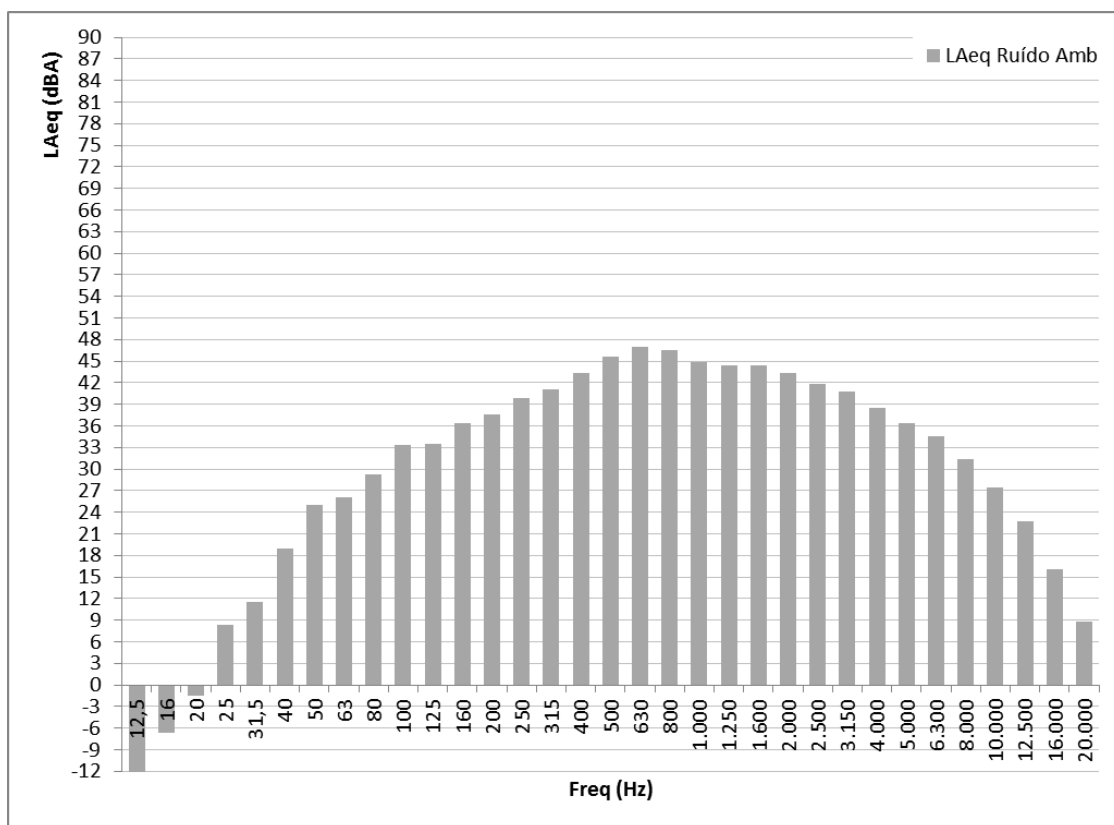


Fig.6.27 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P3, RA

Evolução do LAeq no tempo

No sentido de aferir a consistência das medições do Ruído Ambiente, apresenta-se um gráfico representando o LAeq de cada medição em função do tempo, e a evolução do LAeq acumulado.

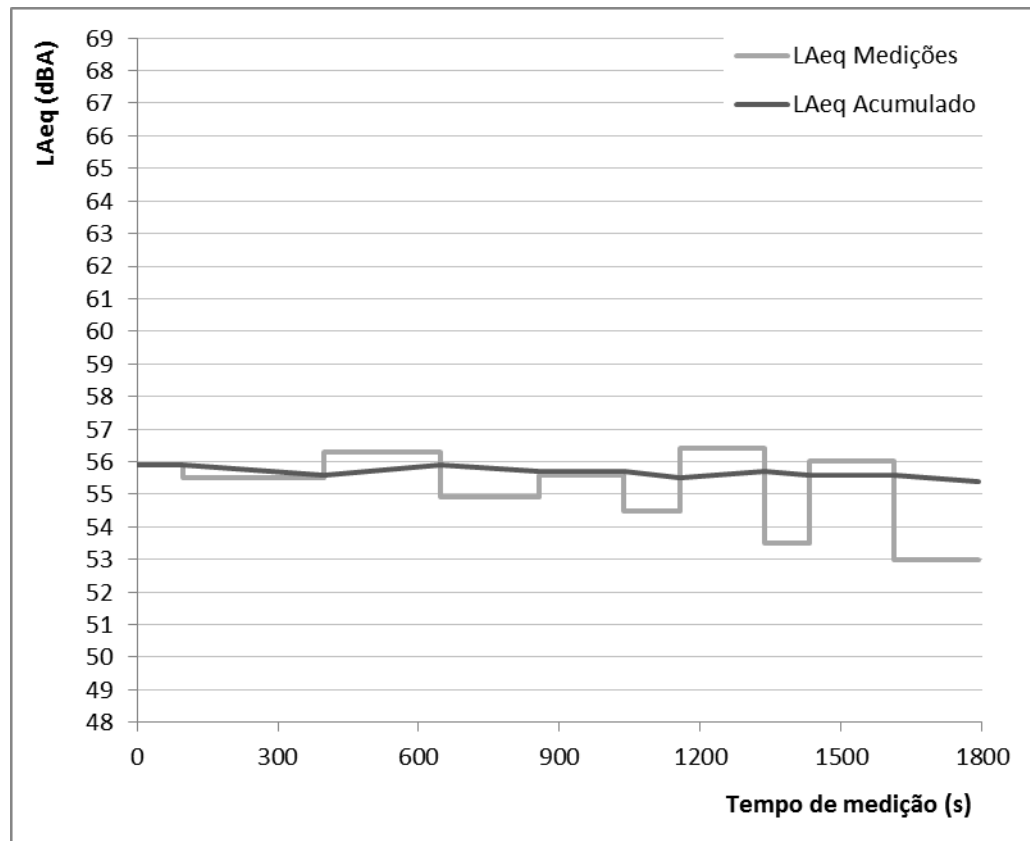


Fig.6.28 – Evolução do LAeq em função do tempo de medição, P3, RA

6.4.2. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA

Análise Estatística

Apresenta-se de seguida a tabela e gráfico com os parâmetros que representam o Ruído de Fonte Patológica no local Ponto 3, na data e intervalo de tempo de recolha das medições.

Quadro 6.17 – Parâmetros estatísticos, P3, RFP

Medição	Duração (s)	LA _{eq} (dBA)	LA _{mín} (dBA)	LA ₉₅ (dBA)	LA ₅₀ (dBA)	LA ₅ (dBA)	LA _{máx} (dBA)
1	16	69,7	56,4	60,4	68,5	74,3	74,9
2	15	68,8	51,2	52,3	67,5	73,8	74,2
3	14	67,8	53,1	54,8	66,7	71,2	72,9
4	14	69,1	53,9	56,3	68,1	72,9	73,8
5	15	67,7	50,4	51,4	66,9	71,6	73,2
6	15	68,9	54,5	57,8	67,3	73,1	73,2
7	14	69,1	54,0	57,2	68,3	72,6	73,0
8	15	68,4	54,1	57,3	67,9	72,7	73,1
9	14	68,9	50,8	51,2	69,2	73,3	73,7
10	14	68,3	56,6	56,5	66,9	71,7	72,6
11	14	69,7	50,1	54,6	69,0	73,8	74,2
12	14	69,7	52,8	57,6	69,2	72,8	74,3

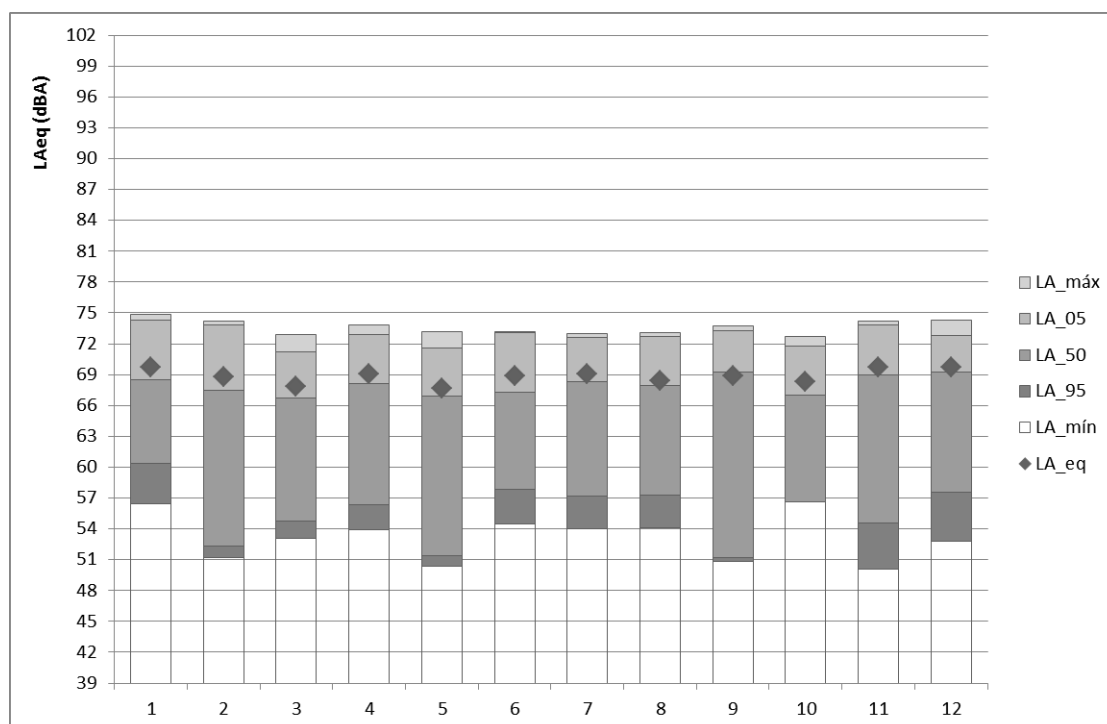


Fig.6.29 – Parâmetros estatísticos, P3, RFP

Análise por Bandas de Frequência

Apresenta-se a seguir a média ponderada em tempo, da totalidade das medições realizadas, em relação ao espectro de frequências discretizadas em bandas de terço de oitava.

Quadro 6.18 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P3, RFP

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica (dBA)
12,5	50,5	-63,4	-12,9
16	50,4	-56,7	-6,3
20	49,9	-50,5	-0,6
25	53,4	-44,7	8,7
31,5	52,4	-39,4	13,0
40	55,2	-34,6	20,6
50	57,6	-30,2	27,4
63	54,8	-26,2	28,6
80	52,8	-22,5	30,3
100	52,7	-19,1	33,6
125	49,8	-16,1	33,7
160	58,5	-13,4	45,1
200	68,6	-10,9	57,7
250	66,2	-8,6	57,6
315	56,7	-6,6	50,1
400	60,9	-4,8	56,1
500	58,0	-3,2	54,8
630	57,3	-1,9	55,4
800	59,1	-0,8	58,3
1.000	60,1	0,0	60,1
1.250	58,6	0,6	59,2
1.600	58,0	1,0	59,0
2.000	56,0	1,2	57,2
2.500	53,4	1,3	54,7
3.150	57,1	1,2	58,3
4.000	54,7	1,0	55,7

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica (dBA)
5.000	43,9	0,5	44,4
6.300	45,0	-0,1	44,9
8.000	38,7	-1,1	37,6
10.000	29,3	-2,5	26,8
12.500	25,6	-4,3	21,3
16.000	23,1	-6,6	16,5
20.000	17,0	-9,3	7,7
Total =	73,4		68,8

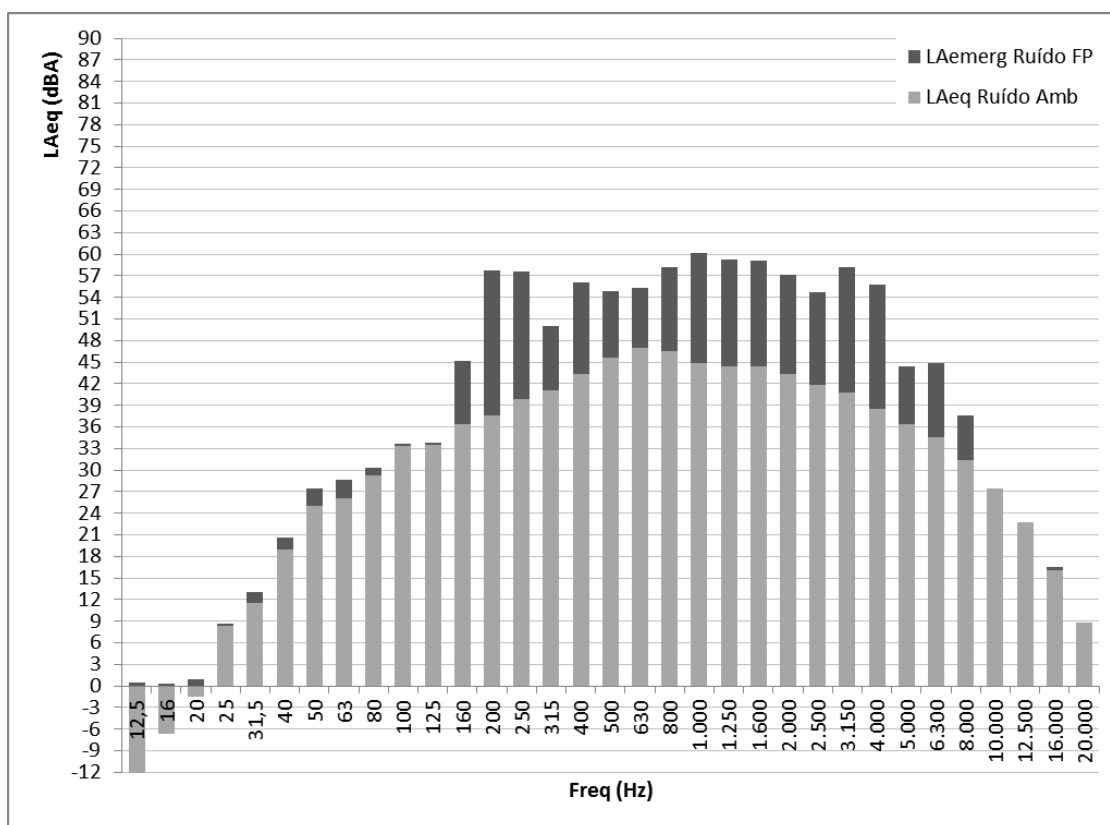


Fig.6.30 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P3, RFP

6.4.3. MAPAS DE RUÍDO

Neste subcapítulo apresentam-se os mapas de ruído elaborados para o Ponto 3.

Quadro 6.19 – Mapas de Ruído do Ponto 3

ID	
P3.RA	Simulação do Ruído Ambiente medido.
P3.RA.FP	Simulação do Ruído Ambiente medido, adicionado do Ruído de Fonte Patológica.
P3 Dif.FP	Representa o agravamento de nível sonoro pela Fonte Patológica.

Os mapas de ruídos apresentados mostram o impacto do ruído das fontes patológicas na paisagem sonora envolvente.

No Ponto 3, o nível sonoro do ruído ambiente é relativamente baixo devido à quase ausência de trânsito automóvel e a fonte situa-se numa rua relativamente estreita e preenchida de fachadas. Por estas razões, o impacto do ruído da fonte patológica é particularmente gravoso.



Fig.6.31 – Mapa de Ruído P3.RA

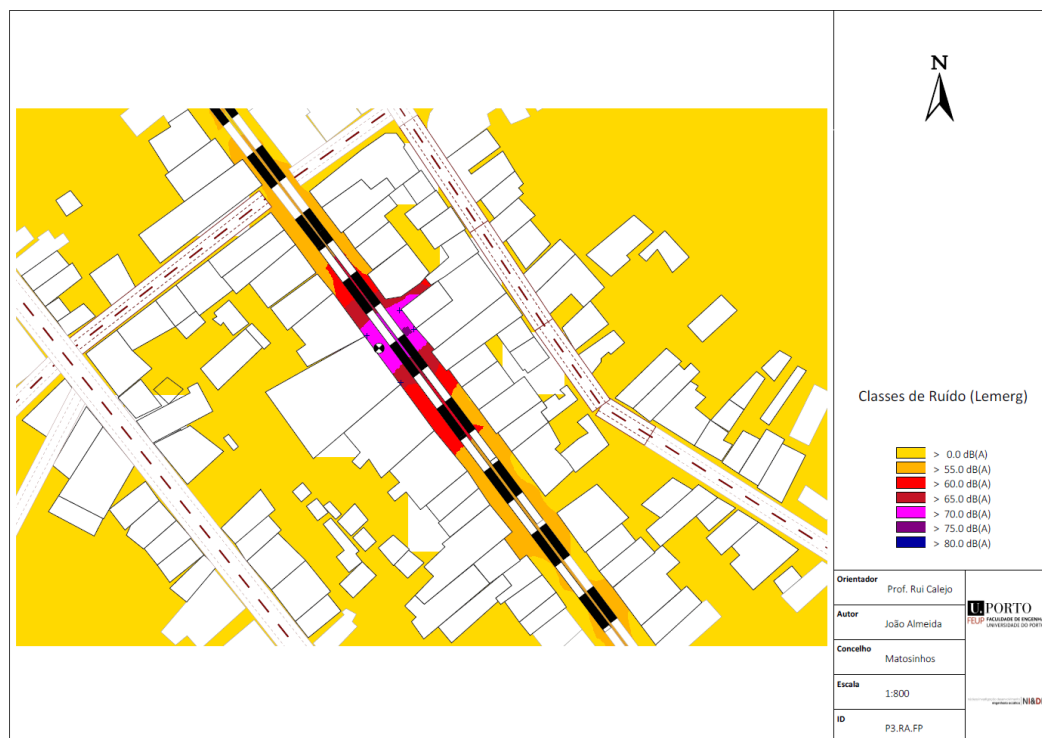


Fig.6.32 – Mapa de Ruído P3.RA.FP

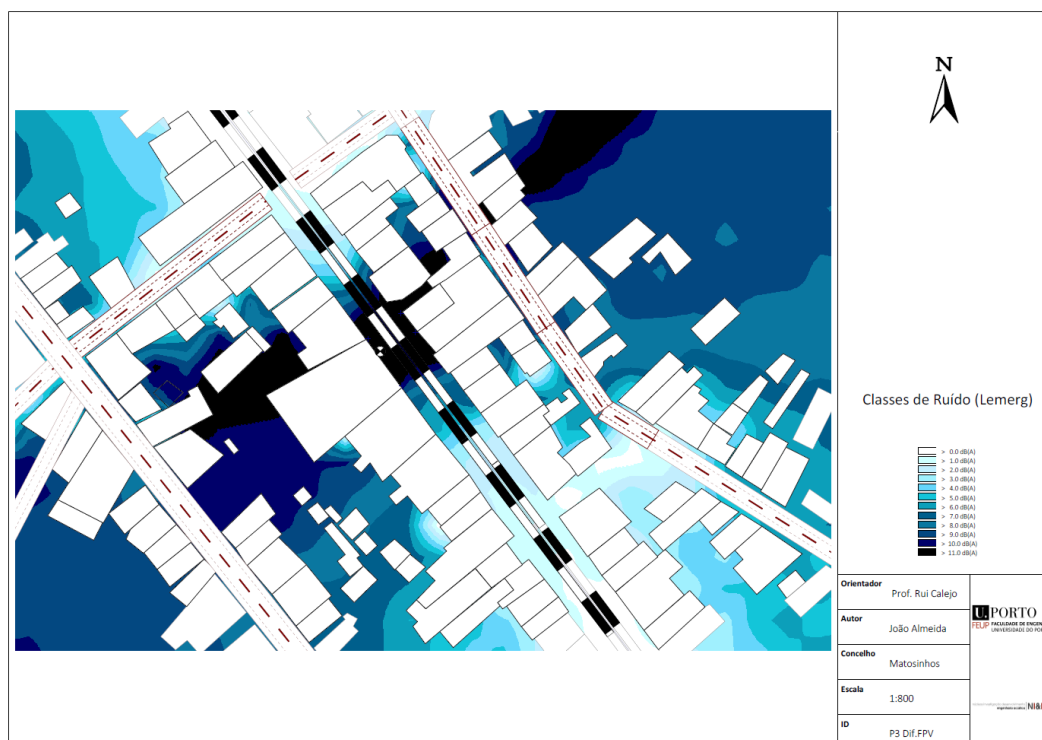


Fig.6.33 – Mapa P3 Dif.FP - Agravamento devido a Fonte Patológica

6.5. PONTO 4 - DEFEITO NA JUNTA DE SOLDADURA DO CARRIL

6.5.1. RUÍDO AMBIENTE

Análise Estatística

Apresentam-se de seguida a tabela e gráfico com os parâmetros que representam o Ruído Ambiente no local Ponto 4, na data e intervalo de tempo de recolha das medições.

Quadro 6.20 – Parâmetros estatísticos, P4, RA

Medição	Duração (s)	LA _{eq} (dBA)	LA _{mín} (dBA)	LA ₉₅ (dBA)	LA ₅₀ (dBA)	LA ₅ (dBA)	LA _{máx} (dBA)
1	56	61,7	50,8	51,6	55,8	69,6	73,2
2	206	60,1	50,0	52,7	57,4	63,9	76,4
3	174	62,6	48,8	52,5	59,8	67,8	72,8
4	156	60,0	51,9	53,4	57,9	64,4	69,7
5	194	59,7	50,2	53,3	57,9	64,8	69,1
6	211	59,3	50,0	52,4	56,1	64,4	74,5
7	182	62,6	51,9	53,4	59,6	67,7	74,6
8	263	59,3	49,7	50,9	56,6	64,5	73,8
9	201	58,9	50,9	52,1	56,2	64,1	70,0
10	147	60,8	52,0	53,3	57,7	66,5	70,0
11	353	61,4	50,7	52,7	57,7	65,6	76,5

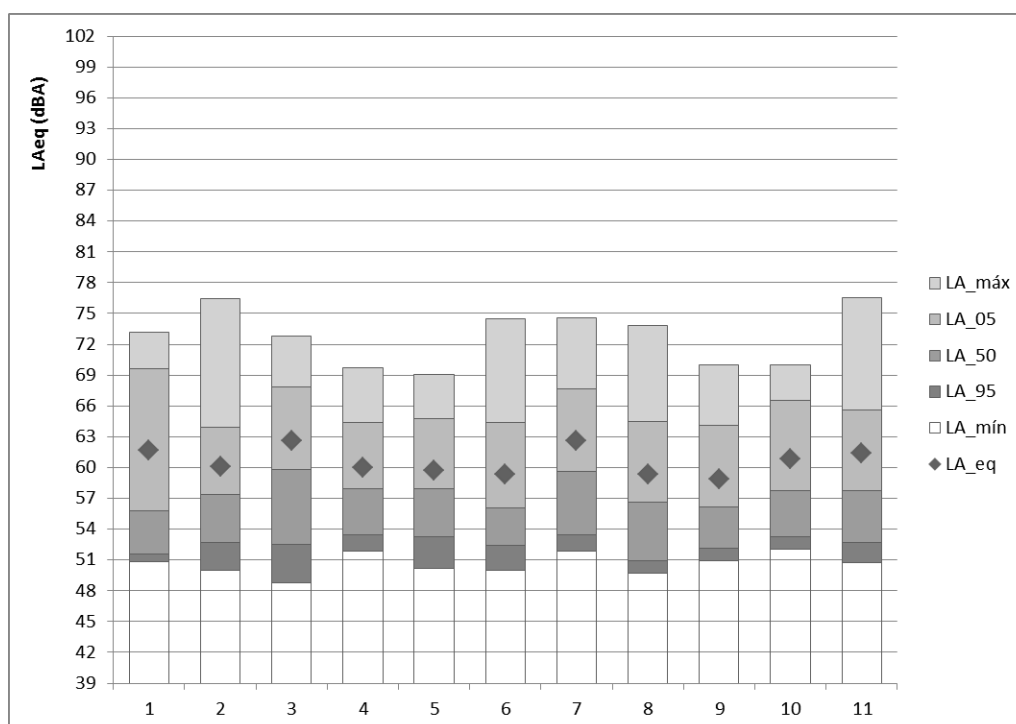


Fig.6.34 – Parâmetros estatísticos, P4, RA

Análise por Bandas de Frequência

Apresenta-se a seguir a média ponderada em tempo, da totalidade das medições realizadas, em relação ao espectro de frequências discretizadas em bandas de terço de oitava.

Quadro 6.21 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P4, RA

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{eq} Ruído Amb (dBA)
12,5	59,4	-63,4	-4,0
16	62,9	-56,7	6,2
20	62,3	-50,5	11,8
25	65,4	-44,7	20,7
31,5	66,1	-39,4	26,7
40	64,9	-34,6	30,3
50	66,2	-30,2	36,0
63	64,2	-26,2	38,0
80	61,5	-22,5	39,0
100	58,8	-19,1	39,7
125	57,5	-16,1	41,4
160	57,5	-13,4	44,1
200	55,1	-10,9	44,2
250	54,2	-8,6	45,6
315	53,1	-6,6	46,5
400	53,0	-4,8	48,2
500	53,1	-3,2	49,9
630	52,7	-1,9	50,8
800	51,8	-0,8	51,0
1.000	50,7	0,0	50,7
1.250	49,9	0,6	50,5
1.600	49,1	1,0	50,1
2.000	48,2	1,2	49,4
2.500	46,9	1,3	48,2
3.150	45,3	1,2	46,5
4.000	42,6	1,0	43,6

Banda de frequência	L_{eq}	Filtro A	LA_{eq} Ruído Amb
(Hz)	(dB)		(dBA)
5.000	40,1	0,5	40,6
6.300	37,1	-0,1	37,0
8.000	34,9	-1,1	33,8
10.000	32,8	-2,5	30,3
12.500	30,5	-4,3	26,2
16.000	30,5	-6,6	23,9
20.000	25,3	-9,3	16,0
Total =	74,4		60,6

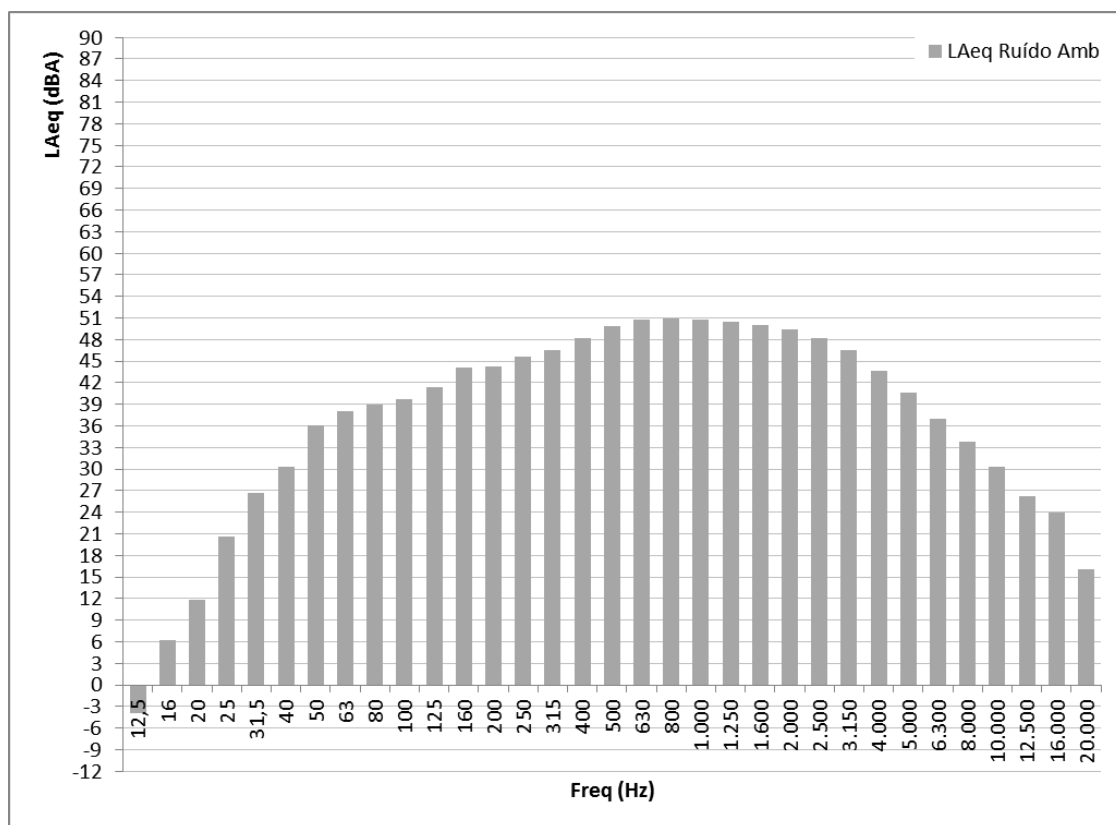


Fig.6.35 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P4, RA

Evolução do LAeq no tempo

No sentido de aferir a consistência das medições do Ruído Ambiente, apresenta-se um gráfico representando o LAeq de cada medição em função do tempo, e a evolução do LAeq acumulado.

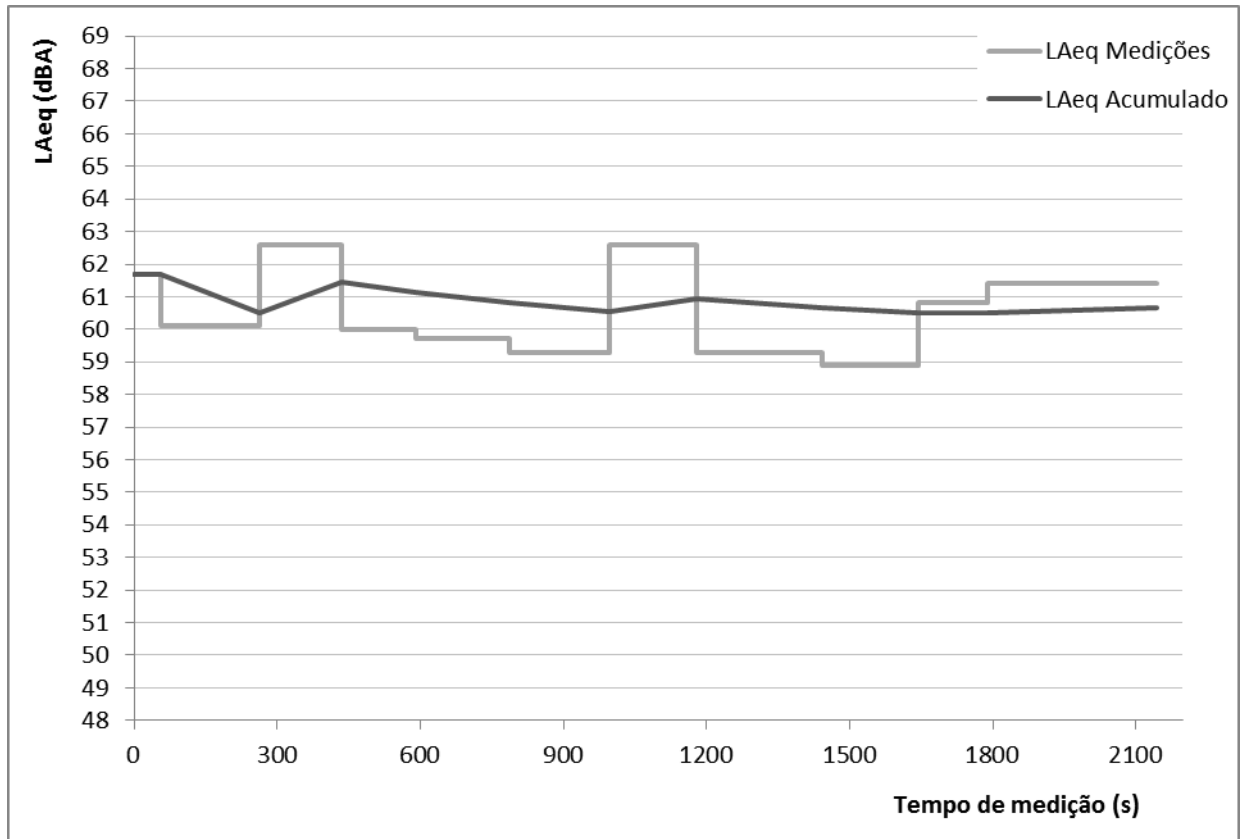


Fig.6.36 – Evolução do LAeq em função do tempo de medição, P4, RA

6.5.2. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA NA VIA 1

Análise Estatística

Apresenta-se de seguida a tabela e gráfico com os parâmetros que representam o Ruído de Fonte Patológica da Via 1 (sentido Matosinhos Sul – Brito Capelo) no local Ponto 4, na data e intervalo de tempo de recolha das medições.

Quadro 6.22 – Parâmetros estatísticos, P4, RFP, V1

Medição	Duração (s)	LA _{eq} (dBA)	LA _{mín} (dBA)	LA ₉₅ (dBA)	LA ₅₀ (dBA)	LA ₅ (dBA)	LA _{máx} (dBA)
1	14	84,5	61,7	74,2	83,1	88,5	88,8
2	7	85	62,7	69,7	83,2	88,4	88,5
3	7	83,9	66,6	69,3	83,2	88,2	88,3
4	12	85,3	62,9	77,3	84,1	88,9	90,1
5	13	85,5	64,8	78,5	84,1	89,7	90,4

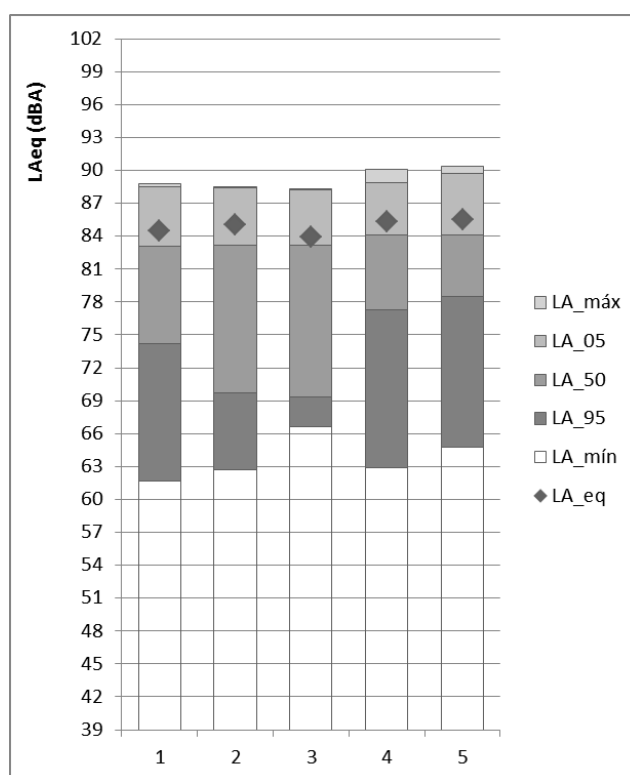


Fig.6.37 – Parâmetros estatísticos, P4, RFP, V1

Análise por Bandas de Frequência

Apresenta-se a seguir a média ponderada em tempo, da totalidade das medições realizadas, em relação ao espectro de frequências discretizadas em bandas de terço de oitava.

Quadro 6.23 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P4, RFP, V1

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica na Via 1 (dBA)
12,5	66,9	-63,4	3,5
16	67,7	-56,7	11,0
20	68,4	-50,5	17,9
25	70,1	-44,7	25,4
31,5	73,0	-39,4	33,6
40	75,8	-34,6	41,2
50	79,6	-30,2	49,4
63	85,2	-26,2	59,0
80	87,9	-22,5	65,4
100	87,9	-19,1	68,8
125	80,1	-16,1	64,0
160	80,9	-13,4	67,5
200	79,9	-10,9	69,0
250	77,1	-8,6	68,5
315	77,3	-6,6	70,7
400	78,1	-4,8	73,3
500	76,8	-3,2	73,6
630	78,1	-1,9	76,2
800	75,9	-0,8	75,1
1.000	74,0	0,0	74,0
1.250	72,9	0,6	73,5
1.600	71,2	1,0	72,2
2.000	71,6	1,2	72,8
2.500	72,6	1,3	73,9
3.150	71,2	1,2	72,4
4.000	68,3	1,0	69,3

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica na Via 1 (dBA)
5.000	66,1	0,5	66,6
6.300	65,1	-0,1	65,0
8.000	63,5	-1,1	62,4
10.000	62,8	-2,5	60,3
12.500	58,1	-4,3	53,8
16.000	53,0	-6,6	46,4
20.000	46,6	-9,3	37,3
Total =	94,0		84,9

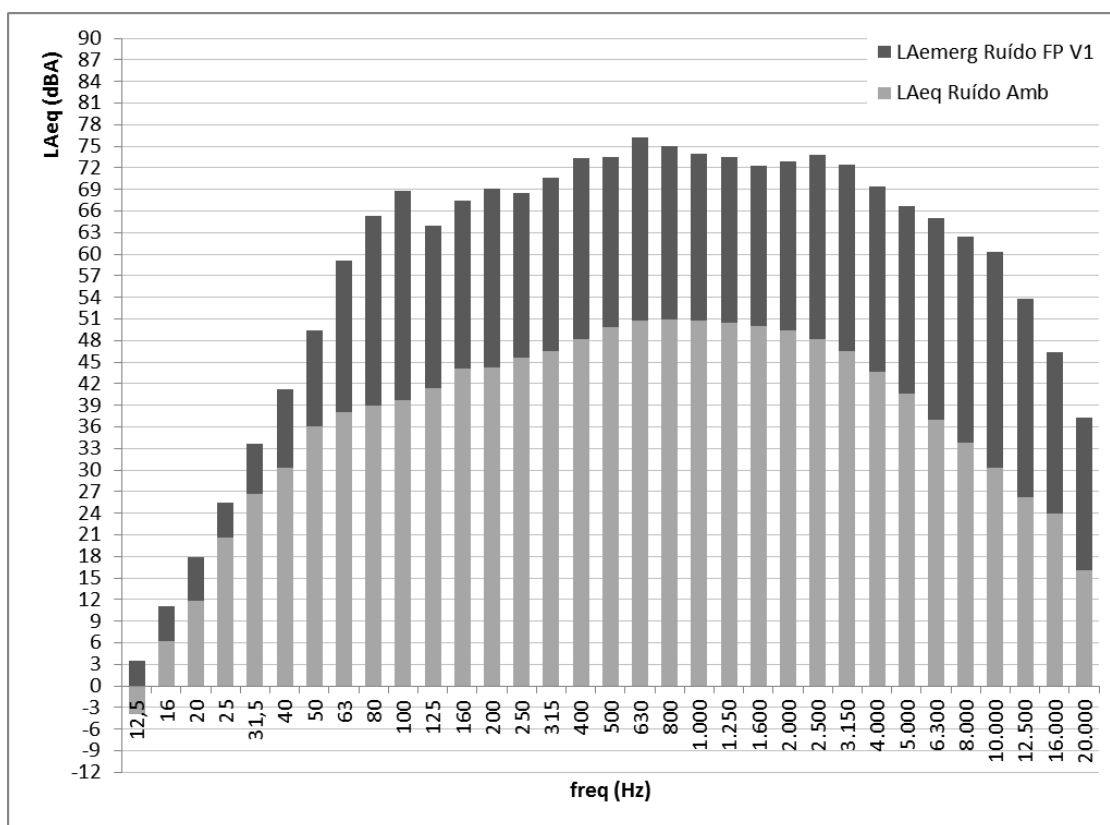


Fig.6.38 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P4, RFP, V1

6.5.3. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA NA VIA 2

Análise Estatística

Apresenta-se de seguida a tabela e gráfico com os parâmetros que representam o Ruído de Fonte Patológica da Via 2 (sentido Brito Capelo – Matosinhos Sul) no local Ponto 4, na data e intervalo de tempo de recolha das medições.

Quadro 6.24 – Parâmetros estatísticos, P4, RFP, V2

Medição	Duração (s)	LA _{eq} (dBA)	LA _{mín} (dBA)	LA ₉₅ (dBA)	LA ₅₀ (dBA)	LA ₅ (dBA)	LA _{máx} (dBA)
1	6	80,7	68,3	69,3	80,5	83,4	83,5
2	13	80,9	68,9	71,3	80,8	83,4	84,0
3	13	81,1	68,9	75,2	80,6	83,6	84,2
4	8	78,6	66,7	68,4	78,5	81,2	81,3
5	10	83,5	69,5	78,3	82,4	86,1	87,1

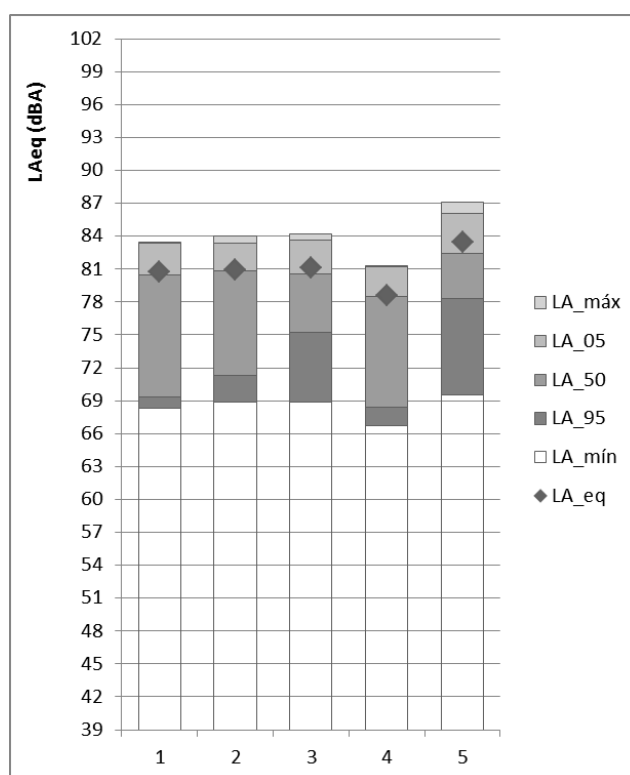


Fig.6.39 – Parâmetros estatísticos, P4, RFP, V2

Análise por Bandas de Frequência

Apresenta-se a seguir a média ponderada em tempo, da totalidade das medições realizadas, em relação ao espectro de frequências discretizadas em bandas de terço de oitava.

Quadro 6.25 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P4, RFP, V2

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica na Via 1 (dBA)
12,5	61,9	-63,4	-1,5
16	63,4	-56,7	6,7
20	64,8	-50,5	14,3
25	64,9	-44,7	20,2
31,5	69,1	-39,4	29,7
40	73,8	-34,6	39,2
50	78,5	-30,2	48,3
63	82,8	-26,2	56,6
80	86,1	-22,5	63,6
100	83,6	-19,1	64,5
125	78,7	-16,1	62,6
160	78,5	-13,4	65,1
200	76,1	-10,9	65,2
250	72,7	-8,6	64,1
315	74,5	-6,6	67,9
400	76,4	-4,8	71,6
500	72,8	-3,2	69,6
630	73,0	-1,9	71,1
800	72,8	-0,8	72,0
1.000	70,3	0,0	70,3
1.250	68,3	0,6	68,9
1.600	67,6	1,0	68,6
2.000	68,5	1,2	69,7
2.500	67,6	1,3	68,9
3.150	67,0	1,2	68,2
4.000	64,8	1,0	65,8

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica na Via 1 (dBA)
5.000	63,1	0,5	63,6
6.300	61,4	-0,1	61,3
8.000	60,1	-1,1	59,0
10.000	60,2	-2,5	57,7
12.500	55,6	-4,3	51,3
16.000	51,0	-6,6	44,4
20.000	45,0	-9,3	35,7
Total =	91,2		81,2

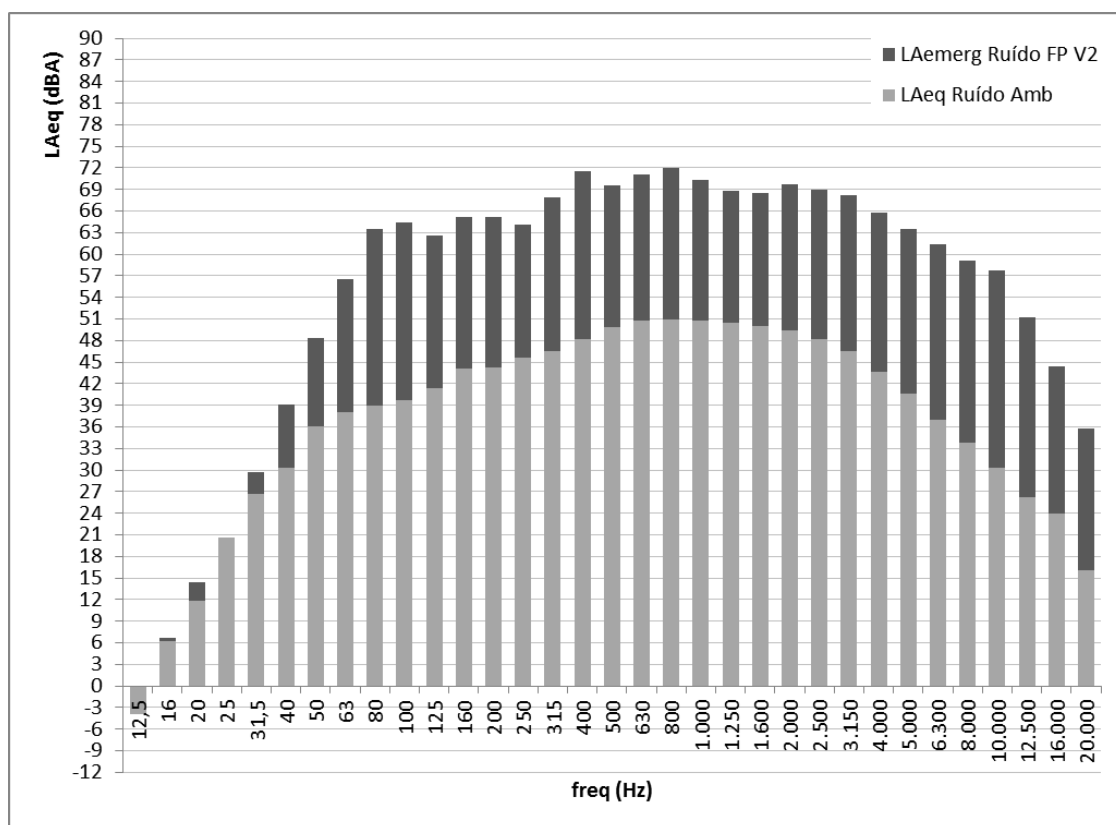


Fig.6.40 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P4, RFP, V2

6.5.4. MAPAS DE RUÍDO

Neste subcapítulo apresentam-se os mapas de ruído elaborados para o Ponto 4.

Quadro 6.26 – Mapas de Ruído do Ponto 4

ID	
P4.RA	Simulação do Ruído Ambiente medido.
P4.RA.M	Simulação do Ruído Ambiente medido, adicionado da simulação do ruído de passagem de veículos do metro, sem fontes patológicas.
P4.RA.M.FPV1	Representa o mesmo de P4.RA.M, adicionado do Ruído de Fonte Patológica gerado na Via 1
P4.RA.M.FPV2	Representa o mesmo de P4.RA.M, adicionado do Ruído de Fonte Patológica gerado na Via 2
P4 Dif.FPV1	Representa o agravamento de nível sonoro pela Fonte Patológica gerado na Via 1.
P4 Dif.FPV2	Representa o agravamento de nível sonoro pela Fonte Patológica gerado na Via 2.

Os mapas de ruídos apresentados mostram o impacto do ruído das fontes patológicas na paisagem sonora envolvente.

No Ponto 4, ambas as fontes patológicas, na Via 1 e na Via 2, geram ruídos que agravam de forma significativa os níveis sonoros da envolvente e transformam os mapas de ruído.



Fig.6.41 – Mapa de Ruído P4.RA

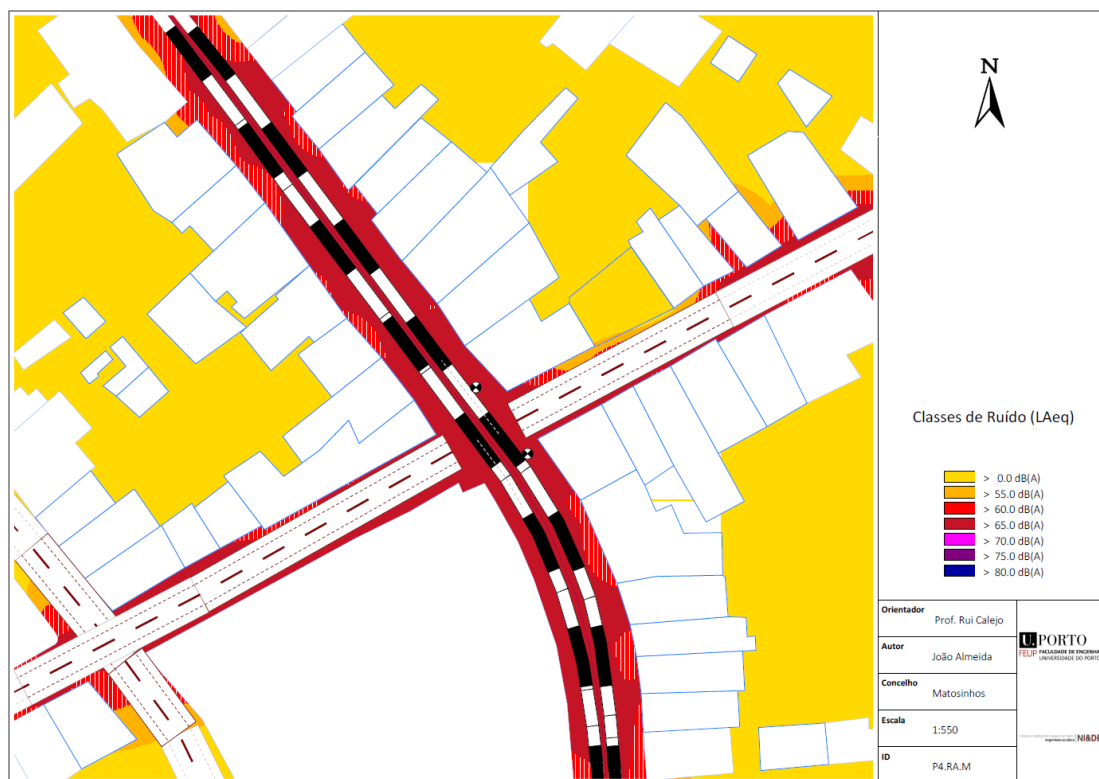


Fig.6.42 – Mapa de Ruído P4.RA.M



Fig.6.43 – Mapa de Ruído P4.RA.M.FPV1

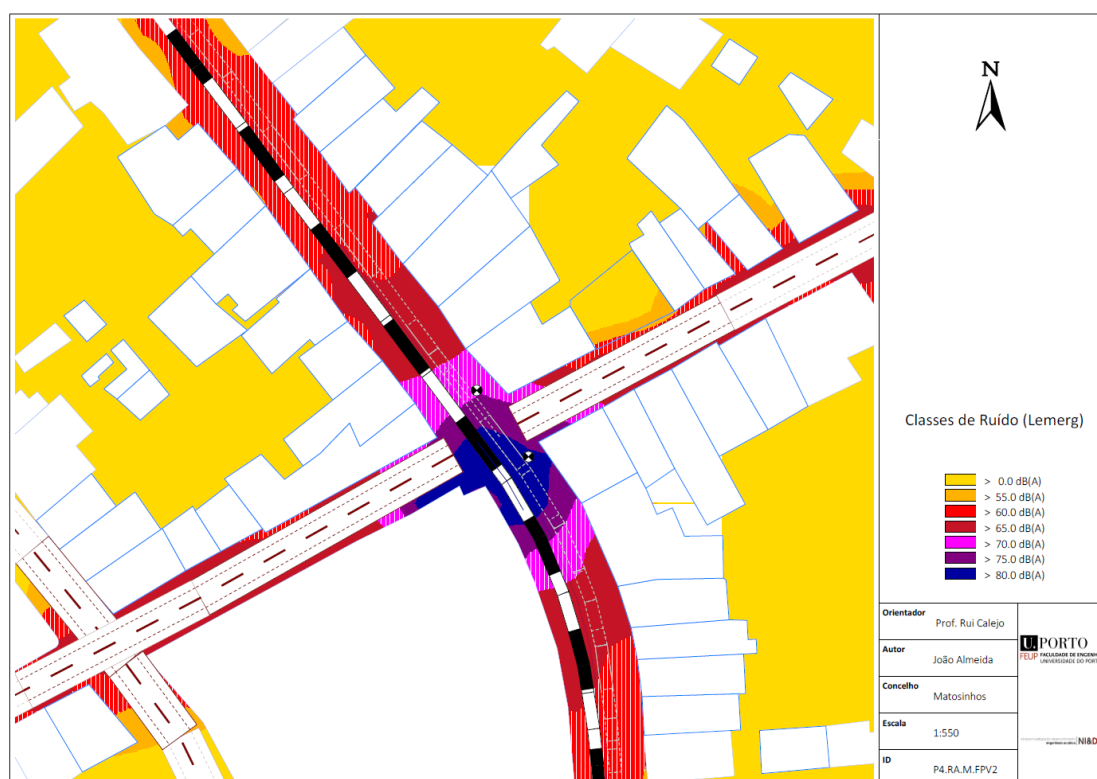


Fig.6.44 – Mapa de Ruído P4.RA.M.FPV2

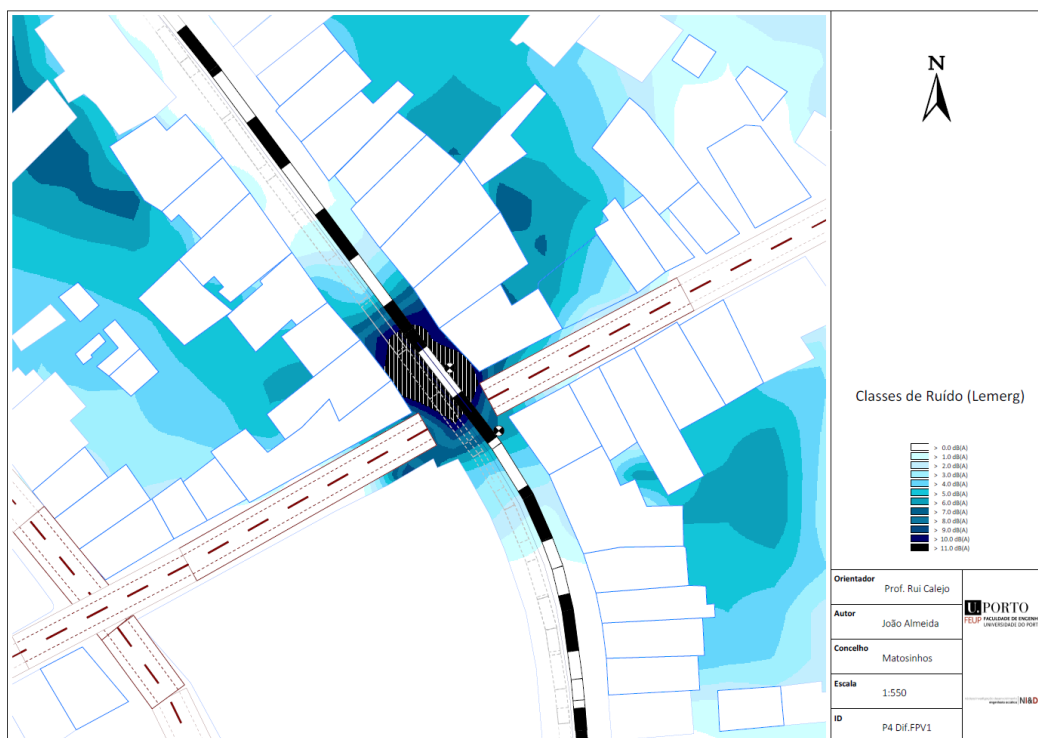


Fig.6.45 – Mapa P4 Dif.FPV1 - Agravamento devido a Fonte Patológica na Via 1

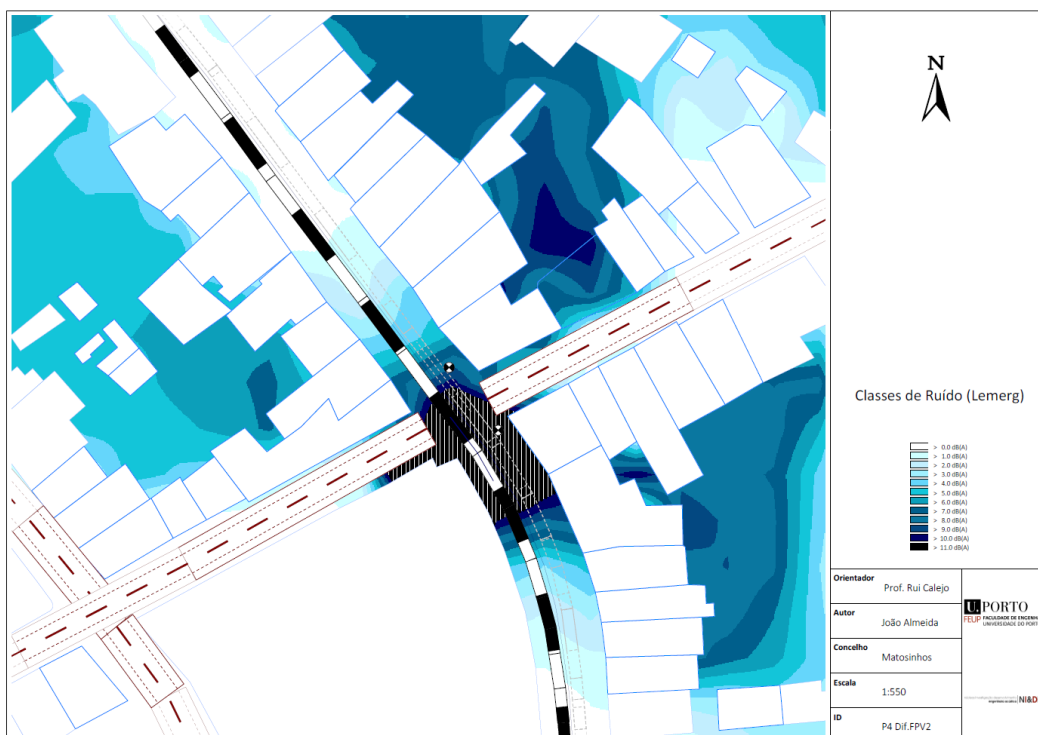


Fig.6.46 – Mapa P4 Dif.FPV2 - Agravamento devido a Fonte Patológica na Via 2

6.6. PONTO 5 - CAMPAINHA EM ATRAVESSAMENTOS DE NÍVEL

6.6.1. RUÍDO AMBIENTE

Análise Estatística

Apresentam-se de seguida a tabela e gráfico com os parâmetros que representam o Ruído Ambiente no local Ponto 5, na data e intervalo de tempo de recolha das medições.

Quadro 6.27 – Parâmetros estatísticos, P5, RA

Medição	Duração (s)	LA _{eq} (dBA)	LA _{mín} (dBA)	LA ₉₅ (dBA)	LA ₅₀ (dBA)	LA ₅ (dBA)	LA _{máx} (dBA)
1	300	51,2	41,6	43,5	47,6	56,8	63,6
2	180	49,1	42,5	43,2	45,8	54,4	58,0
3	300	50,4	41,5	42,5	47,8	55,4	60,8
4	300	50,0	39,9	40,5	45,7	56,2	62,5

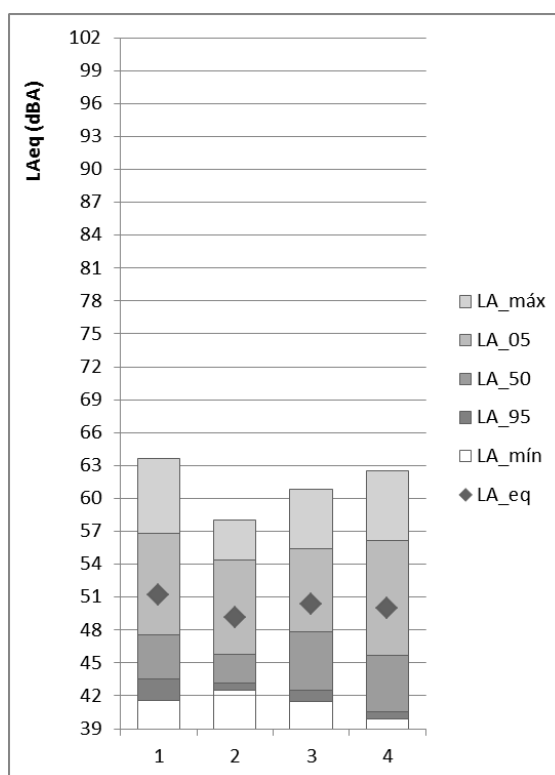


Fig.6.47 – Parâmetros estatísticos, P5, RA

Análise por Bandas de Frequência

Apresenta-se a seguir a média ponderada em tempo, da totalidade das medições realizadas, em relação ao espectro de frequências discretizadas em bandas de terço de oitava.

Quadro 6.28 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P5, RA

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{eq} Ruído Amb (dBA)
12,5	49,1	-63,4	-14,3
16	51,1	-56,7	-5,6
20	48,1	-50,5	-2,4
25	48,4	-44,7	3,7
31,5	49,3	-39,4	9,9
40	51,7	-34,6	17,1
50	53,9	-30,2	23,7
63	52,7	-26,2	26,5
80	50,3	-22,5	27,8
100	43,9	-19,1	24,8
125	41,2	-16,1	25,1
160	38,4	-13,4	25,0
200	39,6	-10,9	28,7
250	40,5	-8,6	31,9
315	39,0	-6,6	32,4
400	36,8	-4,8	32,0
500	41,0	-3,2	37,8
630	39,8	-1,9	37,9
800	42,0	-0,8	41,2
1.000	43,2	0,0	43,2
1.250	41,9	0,6	42,5
1.600	41,0	1,0	42,0
2.000	39,0	1,2	40,2
2.500	35,2	1,3	36,5
3.150	32,6	1,2	33,8
4.000	29,5	1,0	30,5

Banda de frequência (Hz)	L _{eq} (dB)	Filtro A	LA _{eq} Ruído Amb (dBA)
5.000	25,6	0,5	26,1
6.300	22,0	-0,1	21,9
8.000	17,6	-1,1	16,5
10.000	13,6	-2,5	11,1
12.500	9,9	-4,3	5,6
16.000	8,0	-6,6	1,4
20.000	7,7	-9,3	-1,6
Total =	61,1		50,3

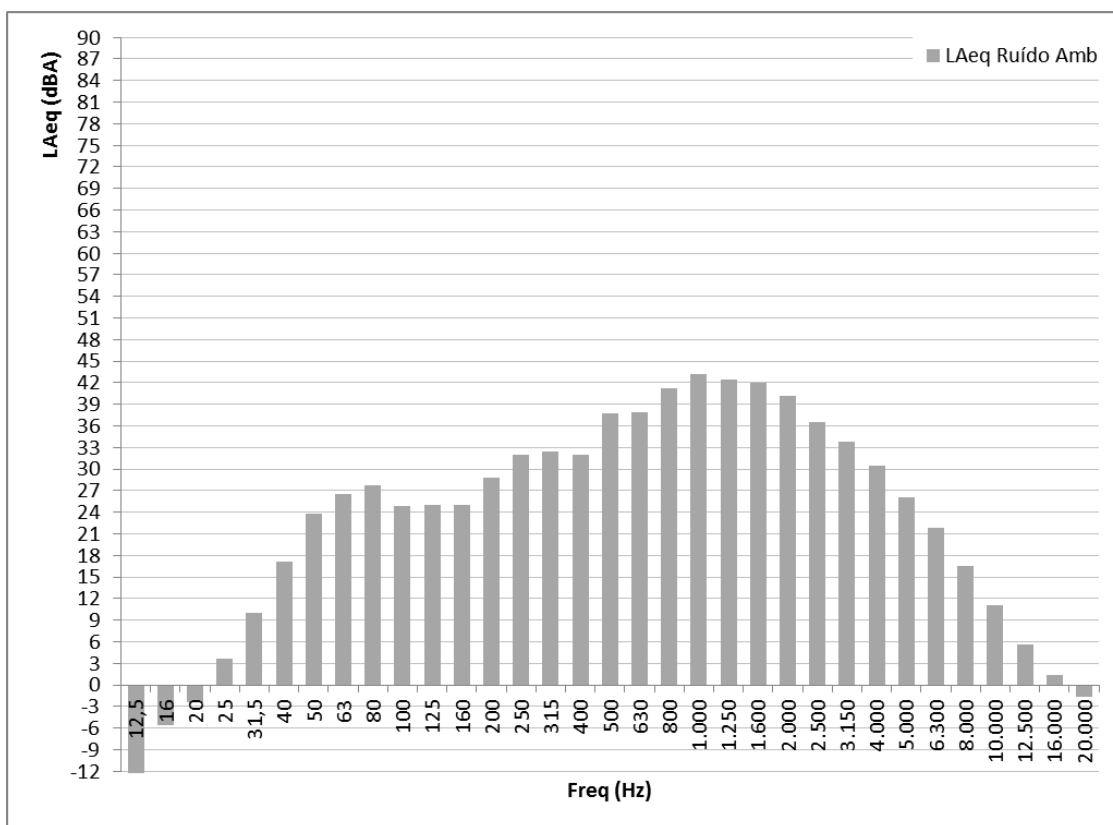


Fig.6.48 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P5, RA

Evolução do LAeq no tempo

No sentido de aferir a consistência das medições do Ruído Ambiente, apresenta-se um gráfico representando o LAeq de cada medição em função do tempo, e a evolução do LAeq acumulado.

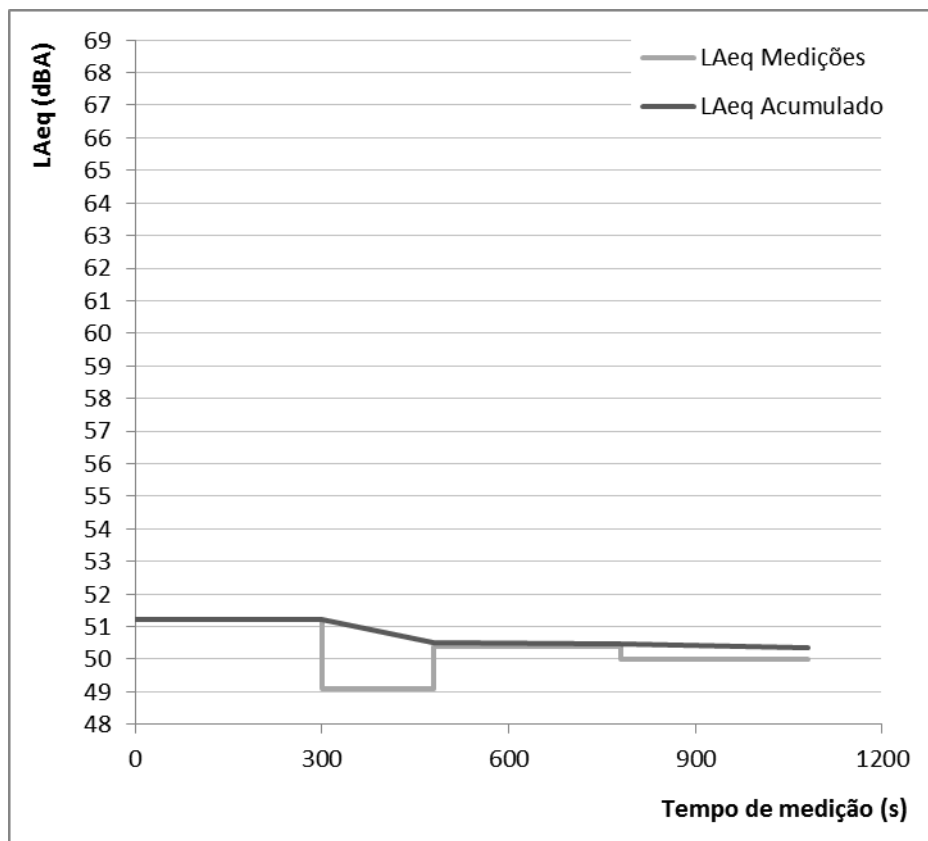


Fig.6.49 – Evolução do LAeq em função do tempo de medição, P5, RA

6.6.2. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA

Análise Estatística

Apresenta-se de seguida a tabela e gráfico com os parâmetros que representam o Ruído de Fonte Patológica no local Ponto 5, na data e intervalo de tempo de recolha das medições.

Quadro 6.29 – Parâmetros estatísticos, P5, RFP

Medição	Duração (s)	LA _{eq} (dBA)	LA _{min} (dBA)	LA ₉₅ (dBA)	LA ₅₀ (dBA)	LA ₅ (dBA)	LA _{máx} (dBA)
1	79	75,3	71,5	72,2	75,3	77,2	77,8
2	39	74,9	67,2	71,2	74,9	77,0	77,5
3	55	74,9	55,0	71,7	74,8	76,8	77,2

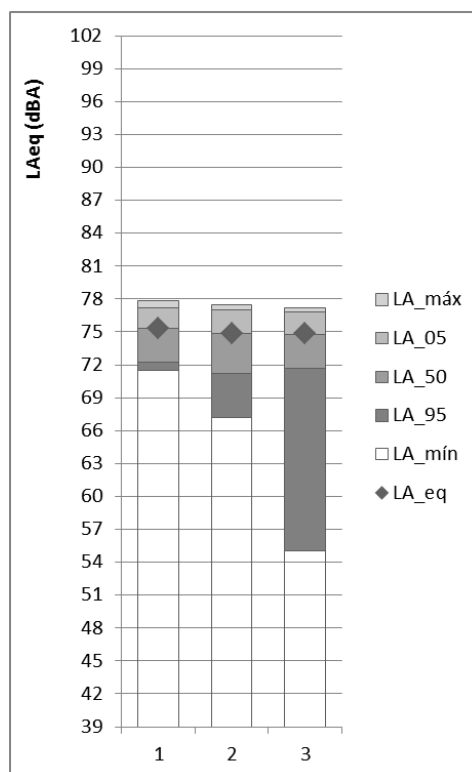


Fig.6.50 – Parâmetros estatísticos, P5, RFP

Análise por Bandas de Frequência

Apresenta-se a seguir a média ponderada em tempo, da totalidade das medições realizadas, em relação ao espectro de frequências discretizadas em bandas de terço de oitava.

Quadro 6.30 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P5, RFP

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica (dBA)
12,5	49,2	-63,4	-14,2
16	49,8	-56,7	-6,9
20	48,1	-50,5	-2,4
25	48,4	-44,7	3,7
31,5	48,3	-39,4	8,9
40	49,5	-34,6	14,9
50	56,9	-30,2	26,7
63	58,0	-26,2	31,8
80	47,6	-22,5	25,1
100	46,3	-19,1	27,2
125	43,4	-16,1	27,3
160	40,6	-13,4	27,2
200	41,7	-10,9	30,8
250	42,2	-8,6	33,6
315	42,5	-6,6	35,9
400	40,6	-4,8	35,8
500	47,5	-3,2	44,3
630	47,1	-1,9	45,2
800	46,9	-0,8	46,1
1.000	47,6	0,0	47,6
1.250	46,5	0,6	47,1
1.600	50,4	1,0	51,4
2.000	47,7	1,2	48,9
2.500	63,3	1,3	64,6
3.150	57,9	1,2	59,1
4.000	65,5	1,0	66,5

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica (dBA)
5.000	62,8	0,5	63,3
6.300	71,2	-0,1	71,1
8.000	70,1	-1,1	69,0
10.000	69,4	-2,5	66,9
12.500	64,6	-4,3	60,3
16.000	66,2	-6,6	59,6
20.000	58,6	-9,3	49,3
Total =	77,0		75,9

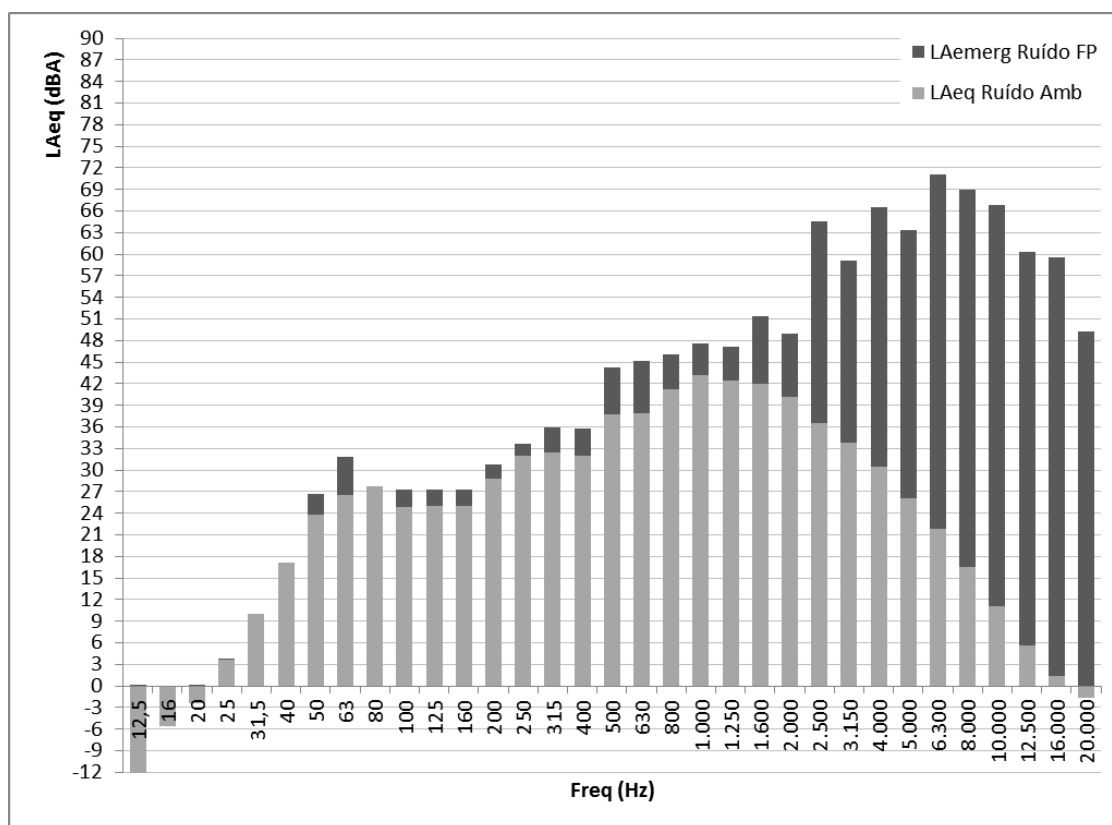


Fig.6.51 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P5, RFP

6.6.3. MAPAS DE RUÍDO

Neste subcapítulo apresentam-se os mapas de ruído elaborados para o Ponto 5.

Quadro 6.31 – Mapas de Ruído do Ponto 5

ID	
P5.RA	Simulação do Ruído Ambiente medido.
P5.RA.FP	Simulação do Ruído Ambiente medido, adicionado do Ruído de Fonte Patológica.
P5 Dif.FP	Representa o agravamento de nível sonoro pela Fonte Patológica.

Os mapas de ruídos apresentados mostram o impacto do ruído das fontes patológicas na paisagem sonora envolvente.

No Ponto 5, o nível sonoro do ruído ambiente é relativamente baixo devido ao pouco trânsito automóvel.

O impacto desta fonte na envolvente não tem uma boa representatividade nos mapas de ruídos gerados, pelas razões indicadas no capítulo 7.1.5. A leitura dos mapas seguintes deve ser feita com grandes reservas.



Fig.6.52 – Mapa de Ruído P5.RA



Fig.6.53 – Mapa de Ruído P5.RA.FP

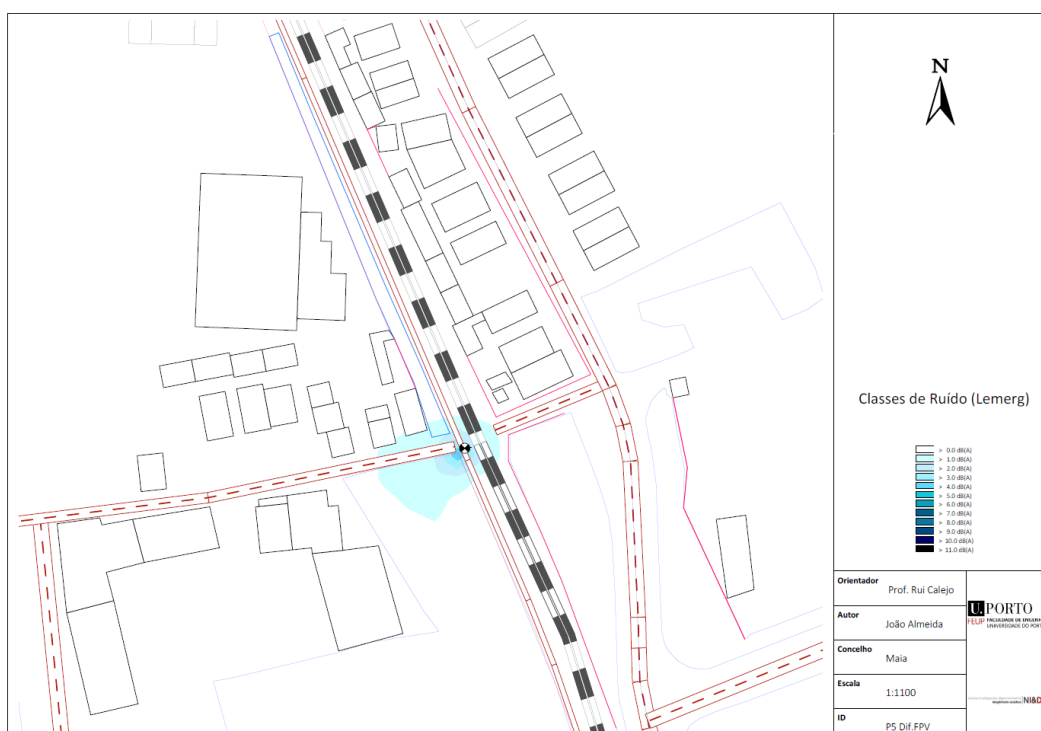


Fig.6.54 – Mapa P5 Dif.FP - Agravamento devido a Fonte Patológica

6.7. PONTO 6 - CORRUGAÇÃO DO CARRIL

6.7.1. RUÍDO AMBIENTE

Análise Estatística

Apresentam-se de seguida a tabela e gráfico com os parâmetros que representam o Ruído Ambiente no local Ponto 6, na data e intervalo de tempo de recolha das medições.

Quadro 6.32 – Parâmetros estatísticos, P6, RA

Medição	Duração (s)	LA _{eq} (dBA)	LA _{min} (dBA)	LA ₉₅ (dBA)	LA ₅₀ (dBA)	LA ₅ (dBA)	LA _{máx} (dBA)
1	70	62,7	51,2	51,7	55,2	66,8	77,6
2	126	59,0	47,9	49,1	53,1	64,7	74,1
3	108	55,5	49,3	50,3	54,1	58,9	65,2
4	48	53,8	45,0	45,1	49,9	59,6	62,2
5	48	57,6	48,7	48,9	55,0	62,0	65,1
6	85	66,6	47,6	49,4	54,9	74,6	80,6
7	97	62,4	47,6	48,4	52,8	66,1	79,0
8	61	54,8	47,0	48,6	52,3	58,8	64,6
9	75	63,1	47,0	47,3	55,9	70,6	74,9
10	171	63,7	47,9	48,6	55,2	70,3	80,5
11	158	56,6	46,4	48,2	52,0	60,8	74,4
12	75	56,5	50,4	51,1	54,8	61,5	63,9
13	119	55,8	44,0	44,9	52,0	60,9	68,1
14	154	59,4	46,5	46,9	52,9	62,8	76,4
15	233	63,0	46,7	50,2	55,9	66,5	79,0
16	82	56,3	46,0	46,5	53,3	60,7	65,9
17	140	66,1	44,4	46,2	53,7	69,4	85,5
18	246	58,0	44,4	46,5	52,8	60,4	77,6
19	130	62,0	49,5	50,6	56,3	66,6	78,2
20	54	63,9	48,1	48,8	55,4	72,0	76,2
21	132	65,5	50,1	50,7	56,1	73,6	79,0
22	124	60,3	49,4	51,1	56,0	66,3	72,4
23	69	66,0	51,9	52,8	55,7	68,8	83,1

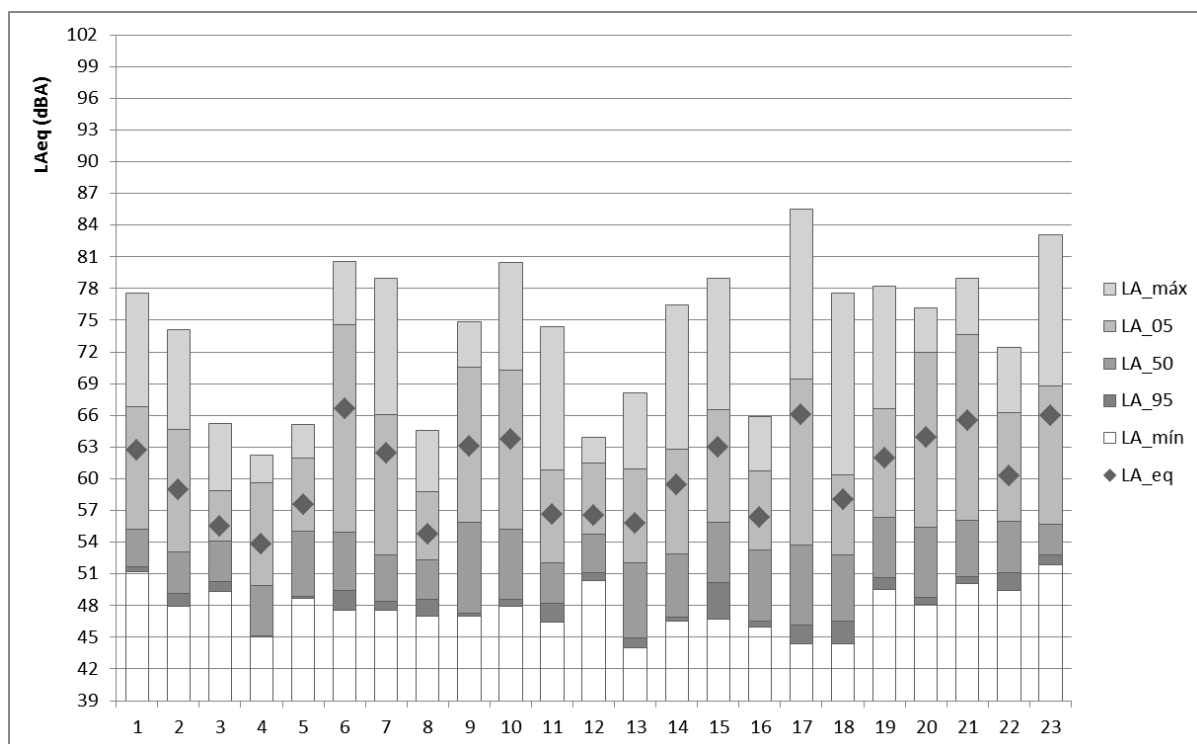


Fig.6.55 – Parâmetros estatísticos, P6, RA

Análise por Bandas de Frequência

Apresenta-se a seguir a média ponderada em tempo, da totalidade das medições realizadas, em relação ao espectro de frequências discretizadas em bandas de terço de oitava.

Quadro 6.33 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P6, RA

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{eq} Ruído Amb (dBA)
12,5	53,1	-63,4	-10,6
16	55,7	-56,7	-0,3
20	57,4	-50,5	8,6
25	59,3	-44,7	14,7
31,5	61,5	-39,4	23,3
40	63,2	-34,6	29,3
50	62,5	-30,2	32,6
63	61,0	-26,2	35,1
80	60,7	-22,5	38,5
100	60,1	-19,1	41,2
125	58,6	-16,1	43,1
160	57,7	-13,4	44,3
200	56,4	-10,9	45,1
250	56,8	-8,6	48,1
315	55,3	-6,6	49,1
400	53,6	-4,8	48,9
500	54,6	-3,2	51,4
630	56,6	-1,9	54,5
800	56,4	-0,8	55,6
1.000	53,7	0,0	54,1
1.250	49,9	0,6	50,7
1.600	46,3	1,0	47,3
2.000	43,1	1,2	43,9
2.500	40,3	1,3	41,4
3.150	37,6	1,2	39,0
4.000	35,1	1,0	36,4

Banda de frequência (Hz)	L _{eq} (dB)	Filtro A	LA _{eq} Ruído Amb (dBA)
5.000	32,1	0,5	33,3
6.300	28,9	-0,1	28,9
8.000	26,2	-1,1	25,1
10.000	23,1	-2,5	20,2
12.500	20,4	-4,3	15,3
16.000	18,3	-6,6	11,9
20.000	21,7	-9,3	12,5
Total =	71,8		62,0

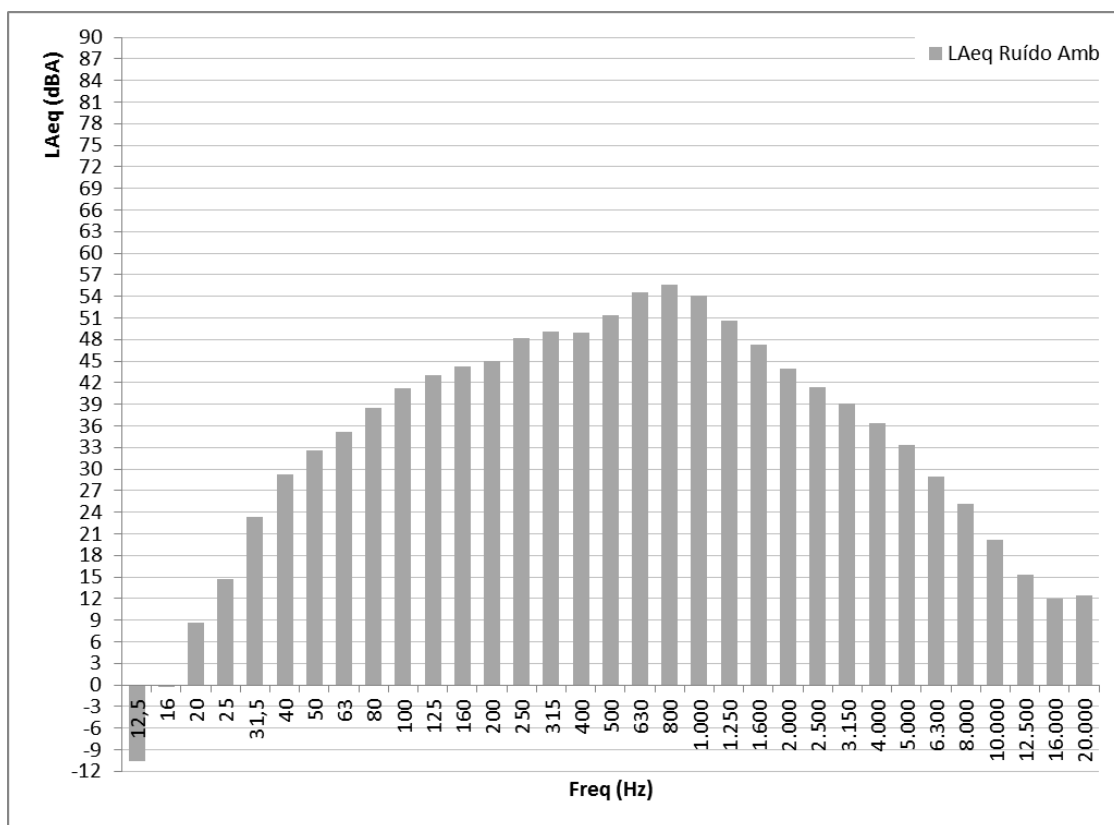


Fig.6.56 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P6, RA

Evolução do LAeq no tempo

No sentido de aferir a consistência das medições do Ruído Ambiente, apresenta-se um gráfico representando o LAeq de cada medição em função do tempo, e a evolução do LAeq acumulado.

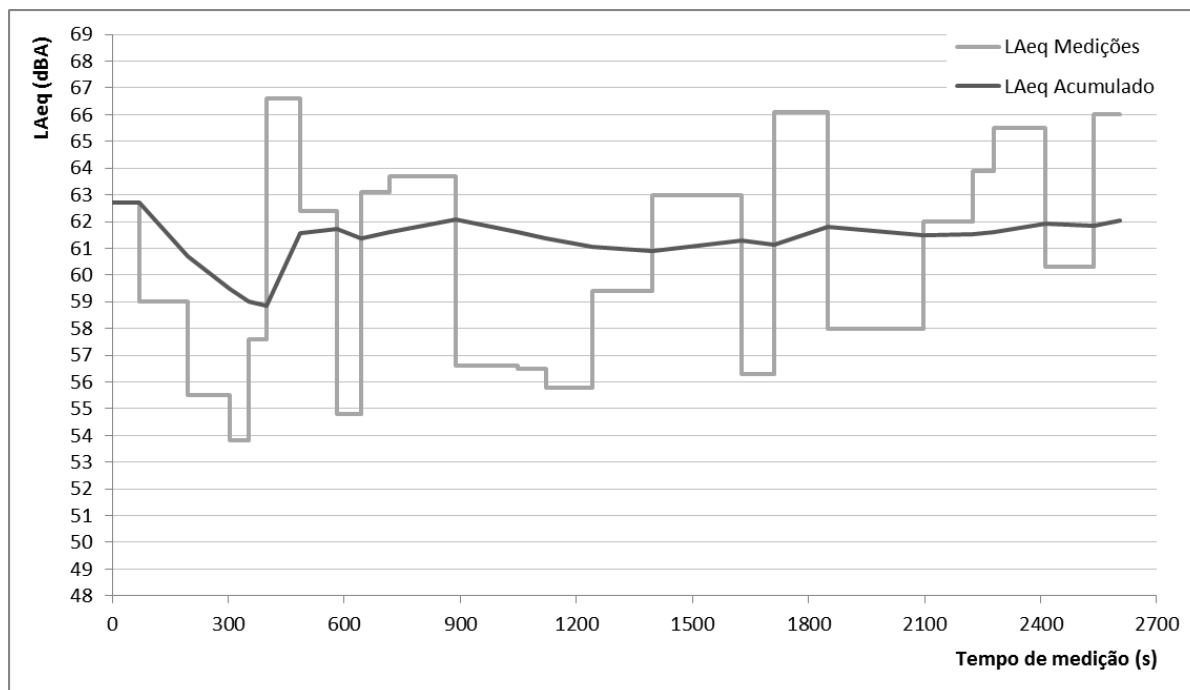


Fig.6.57 – Evolução do LAeq em função do tempo de medição, P6, RA

6.7.2. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA NA VIA 1

Análise Estatística

Apresenta-se de seguida a tabela e gráfico com os parâmetros que representam o Ruído de Fonte Patológica da Via 1 (sentido Sra. da Hora – Fonte do Cuco) no local Ponto 6, na data e intervalo de tempo de recolha das medições.

Quadro 6.34 – Parâmetros estatísticos, P6, RFP, V1

Medição	Duração (s)	LA _{eq} (dBA)	LA _{mín} (dBA)	LA ₉₅ (dBA)	LA ₅₀ (dBA)	LA ₅ (dBA)	LA _{máx} (dBA)
1	20	81,7	59,0	61,4	65,7	89,9	90,0
2	18	81,3	56,5	58,8	66,8	88,9	90,7
3	22	84,1	59,4	60,9	68,2	91,5	93,7
4	19	83,9	58,4	58,6	69,8	92,7	93,3
5	18	83,5	58,4	59,4	70,1	91,4	91,6
6	21	82,7	57,2	63,1	70,5	90,6	91,1
7	23	81,0	58,0	61,9	65,7	89,0	90,8
8	22	82,0	55,7	58,1	65,5	90,2	91,8
9	17	76,9	57,1	61,5	68,0	83,9	85,4

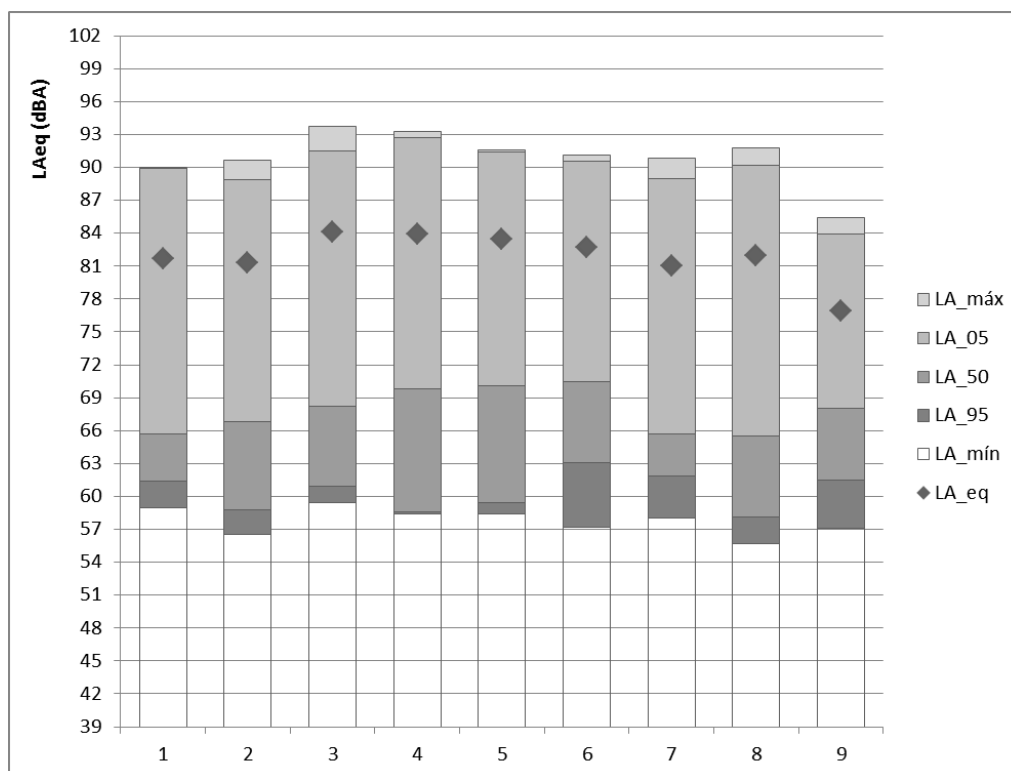


Fig.6.58 – Parâmetros estatísticos, P6, RFP, V1

Análise por Bandas de Frequência

Apresenta-se a seguir a média ponderada em tempo, da totalidade das medições realizadas, em relação ao espectro de frequências discretizadas em bandas de terço de oitava.

Quadro 6.35 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P6, RFP, V1

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica na Via 1 (dBA)
12,5	61,8	-63,4	-1,6
16	66,2	-56,7	9,5
20	63,5	-50,5	13,0
25	64,8	-44,7	20,1
31,5	66,2	-39,4	26,8
40	69,0	-34,6	34,4
50	69,7	-30,2	39,5
63	70,9	-26,2	44,7
80	73,1	-22,5	50,6
100	73,6	-19,1	54,5
125	81,2	-16,1	65,1
160	85,2	-13,4	71,8
200	78,9	-10,9	68,0
250	80,6	-8,6	72,0
315	81,4	-6,6	74,8
400	79,0	-4,8	74,2
500	72,0	-3,2	68,8
630	71,0	-1,9	69,1
800	73,9	-0,8	73,1
1.000	72,1	0,0	72,1
1.250	65,3	0,6	65,9
1.600	63,2	1,0	64,2
2.000	64,1	1,2	65,3
2.500	63,6	1,3	64,9
3.150	61,3	1,2	62,5
4.000	59,3	1,0	60,3

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica na Via 1 (dBA)
5.000	61,4	0,5	61,9
6.300	61,3	-0,1	61,2
8.000	58,3	-1,1	57,2
10.000	56,5	-2,5	54,0
12.500	53,4	-4,3	49,1
16.000	47,8	-6,6	41,2
20.000	42,8	-9,3	33,5
Total =	90,2		82,3

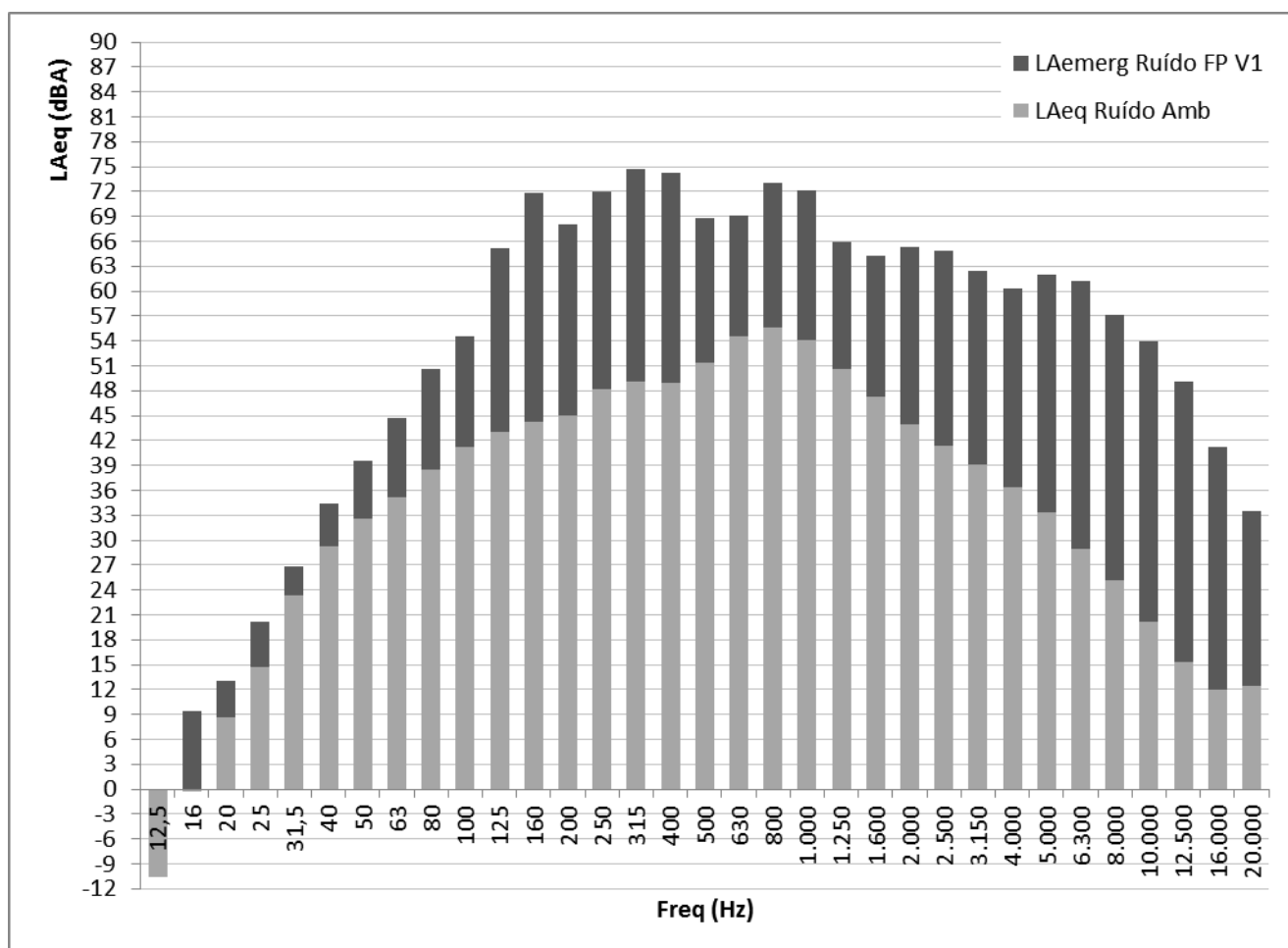


Fig.6.59 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P6, RFP, V1

6.7.3. RUÍDO DE FONTE PATOLÓGICA NA VIA 2

Análise Estatística

Apresenta-se de seguida a tabela e gráfico com os parâmetros que representam o Ruído de Fonte Patológica da Via 2 (sentido Fonte do Cuco – Sra. da Hora) no local Ponto 6, na data e intervalo de tempo de recolha das medições.

Quadro 6.36 – Parâmetros estatísticos, P6, RFP, V2

Medição	Duração (s)	LA _{eq} (dBA)	LA _{mín} (dBA)	LA ₉₅ (dBA)	LA ₅₀ (dBA)	LA ₅ (dBA)	LA _{máx} (dBA)
1	30	81,9	55,1	56,6	73,4	87,9	89,0
2	18	84,3	55,2	62,8	73,6	91,9	92,5
3	17	79,3	60,9	61,7	69,2	86,3	88,5
4	30	74,0	55,5	56,0	66,8	79,5	80,9
5	19	82,9	62,1	63,5	70,2	90,4	90,9
6	25	84,8	60,7	67,0	72,5	91,8	92,4
7	17	77,2	58,3	61,9	66,1	84,0	84,6

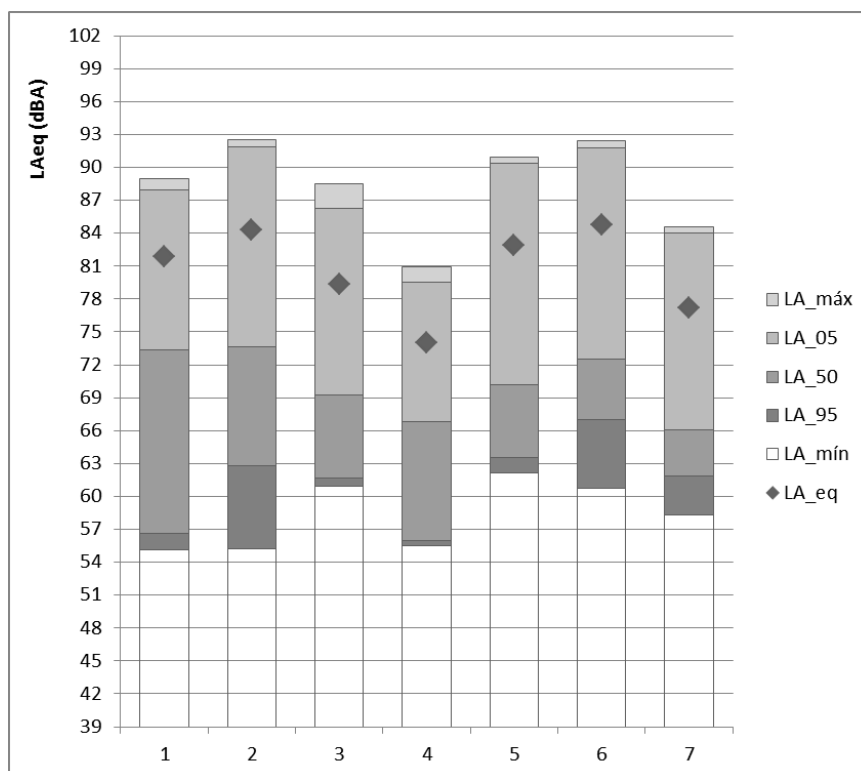


Fig.6.60 – Parâmetros estatísticos, P6, RFP, V2

Análise por Bandas de Frequência

Apresenta-se a seguir a média ponderada em tempo, da totalidade das medições realizadas, em relação ao espectro de frequências discretizadas em bandas de terço de oitava.

Quadro 6.37 – Espectro medido, em bandas de terço de oitava, P6, RFP, V2

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica na Via 2 (dBA)
12,5	64,2	-63,4	0,8
16	66,5	-56,7	9,8
20	64,2	-50,5	13,7
25	67,7	-44,7	23,0
31,5	72,9	-39,4	33,5
40	76,4	-34,6	41,8
50	77,9	-30,2	47,7
63	79,0	-26,2	52,8
80	81,1	-22,5	58,6
100	80,1	-19,1	61,0
125	80,4	-16,1	64,3
160	80,8	-13,4	67,4
200	75,0	-10,9	64,1
250	73,2	-8,6	64,6
315	73,7	-6,6	67,1
400	73,9	-4,8	69,1
500	71,3	-3,2	68,1
630	72,4	-1,9	70,5
800	72,0	-0,8	71,2
1.000	69,6	0,0	69,6
1.250	69,4	0,6	70,0
1.600	69,0	1,0	70,0
2.000	69,5	1,2	70,7
2.500	71,2	1,3	72,5
3.150	70,1	1,2	71,3
4.000	67,8	1,0	68,8

Banda de frequência (Hz)	L_{eq} (dB)	Filtro A	LA_{emerg} Ruído Fonte Patológica na Via 2 (dBA)
5.000	66,4	0,5	66,9
6.300	65,4	-0,1	65,3
8.000	64,5	-1,1	63,4
10.000	63,7	-2,5	61,2
12.500	59,3	-4,3	55,0
16.000	54,0	-6,6	47,4
20.000	47,2	-9,3	37,9
Total =	89,6		81,8

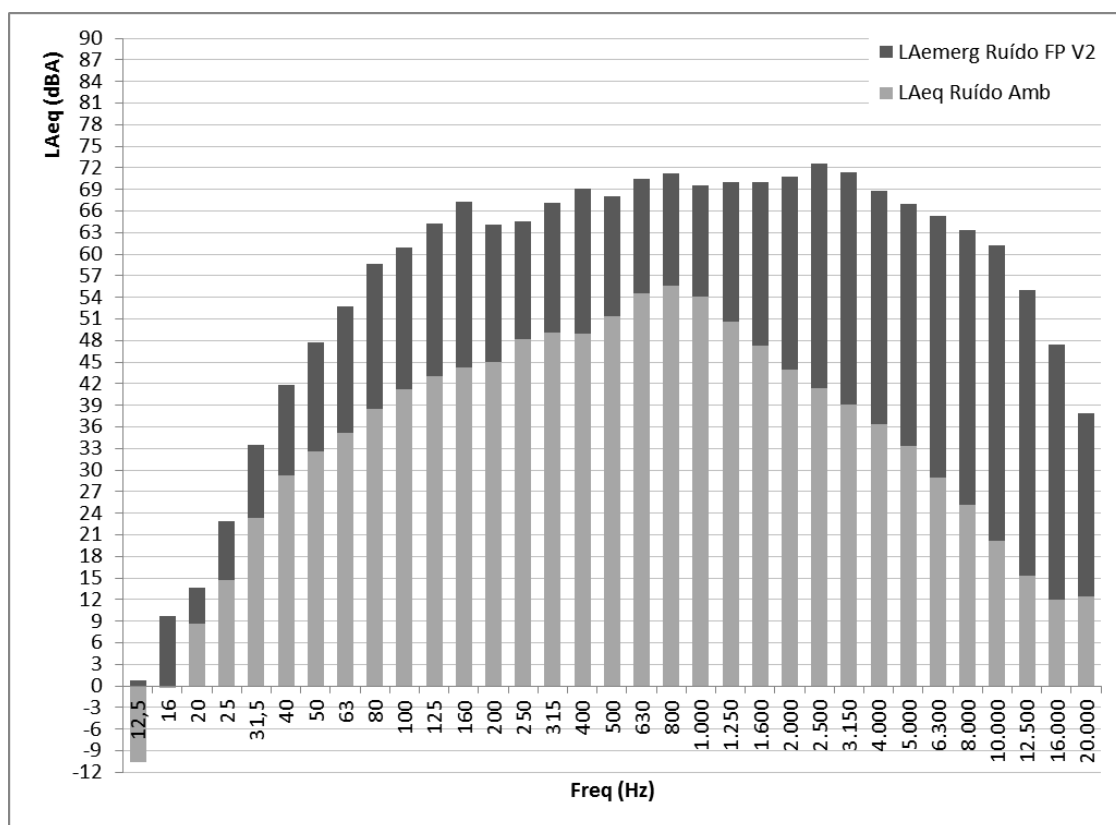


Fig.6.61 – Espectro do ruído em bandas de terço de oitava, P6, RFP, V2

6.7.4. MAPAS DE RUÍDO

Neste subcapítulo apresentam-se os mapas de ruído elaborados para o Ponto 6.

Quadro 6.38 – Mapas de Ruído do Ponto 6

ID	
P6.RA	Simulação do Ruído Ambiente medido.
P6.RA.M	Simulação do Ruído Ambiente medido, adicionado da simulação do ruído de passagem de veículos do metro, sem fontes patológicas.
P6.RA.M.FPV1	Representa o mesmo de P6.RA.M, adicionado do Ruído de Fonte Patológica gerado na Via 1
P6.RA.M.FPV2	Representa o mesmo de P6.RA.M, adicionado do Ruído de Fonte Patológica gerado na Via 2
P6 Dif.FPV1	Representa o agravamento de nível sonoro pela Fonte Patológica gerado na Via 1.
P6 Dif.FPV2	Representa o agravamento de nível sonoro pela Fonte Patológica gerado na Via 2.

Os mapas de ruídos apresentados mostram o impacto do ruído das fontes patológicas na paisagem sonora envolvente.

No Ponto 6, ambas as fontes patológicas, na Via 1 e na Via 2, geram ruídos que agravam de forma significativa os níveis sonoros da envolvente e transformam os mapas de ruído, em particular o da Via 1 onde a velocidade de circulação média dos veículos é superior à da Via 2.

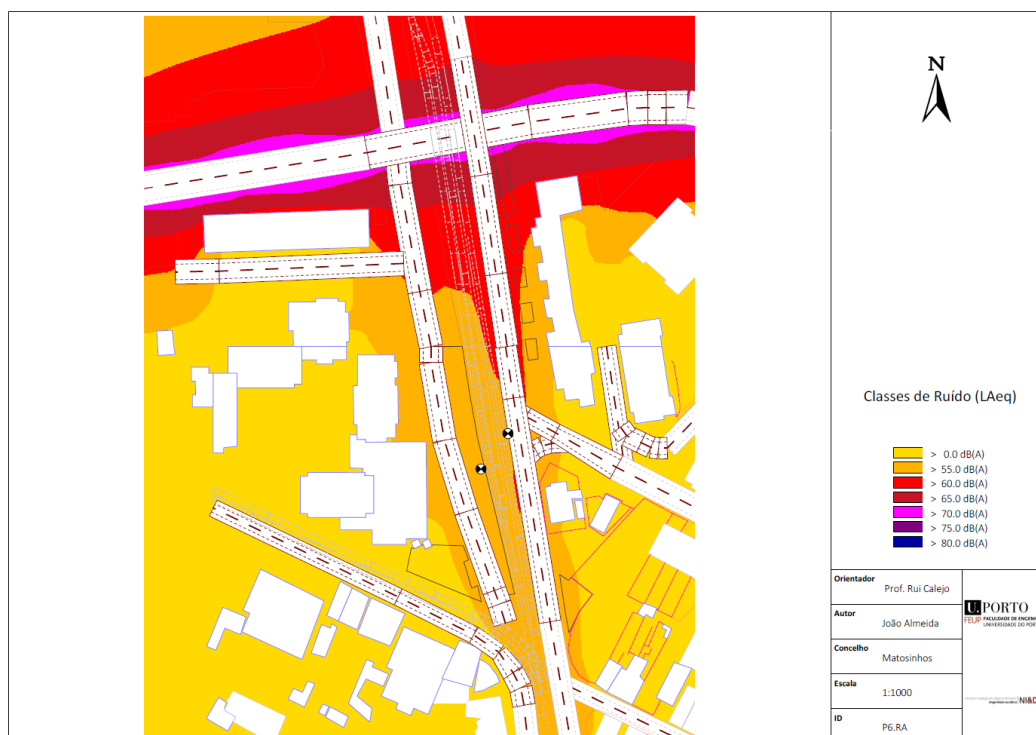


Fig.6.62 – Mapa de Ruído P6.RA

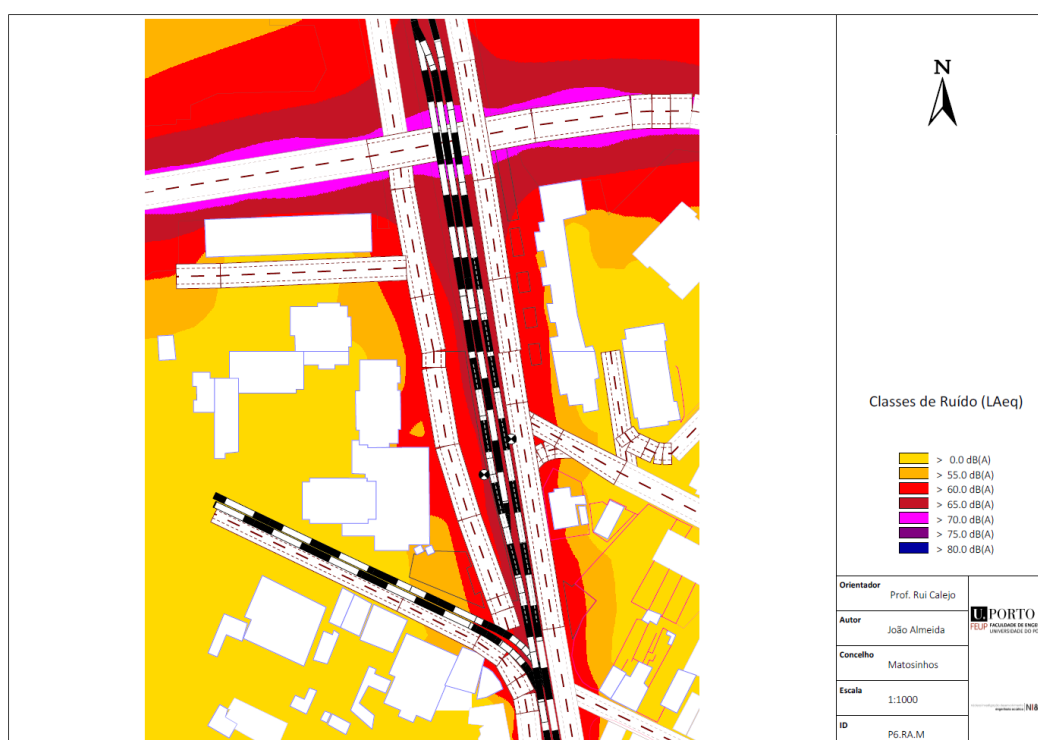


Fig.6.63 – Mapa de Ruído P6.RA.M

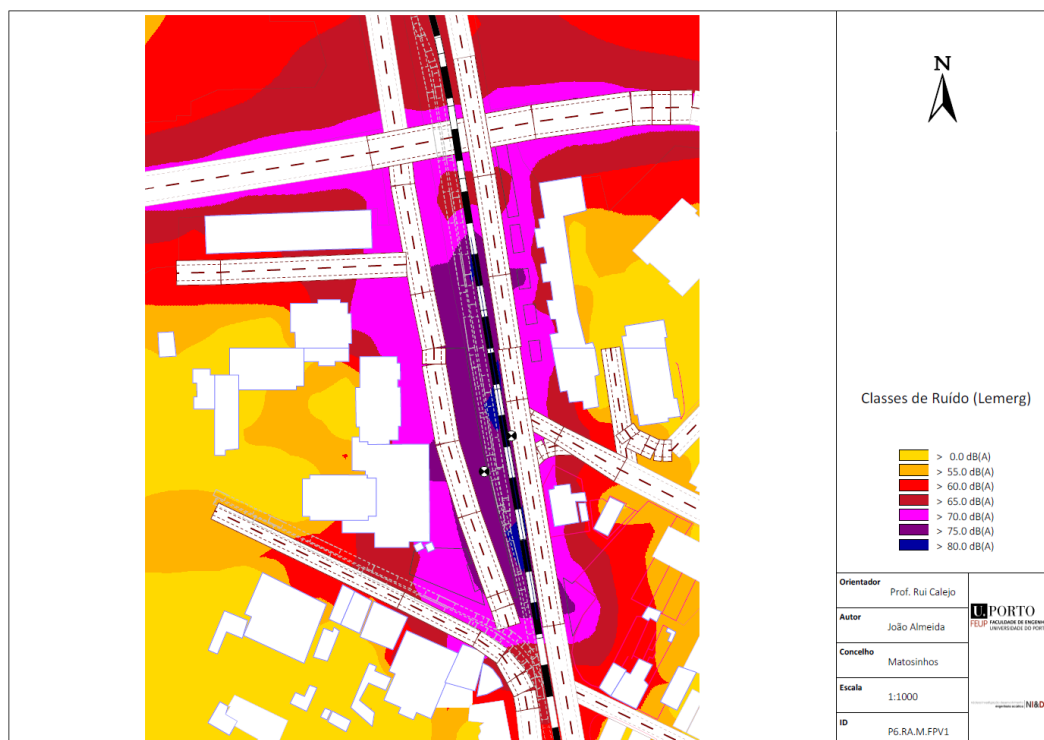


Fig.6.64 – Mapa de Ruído P6.RA.M.FPV1

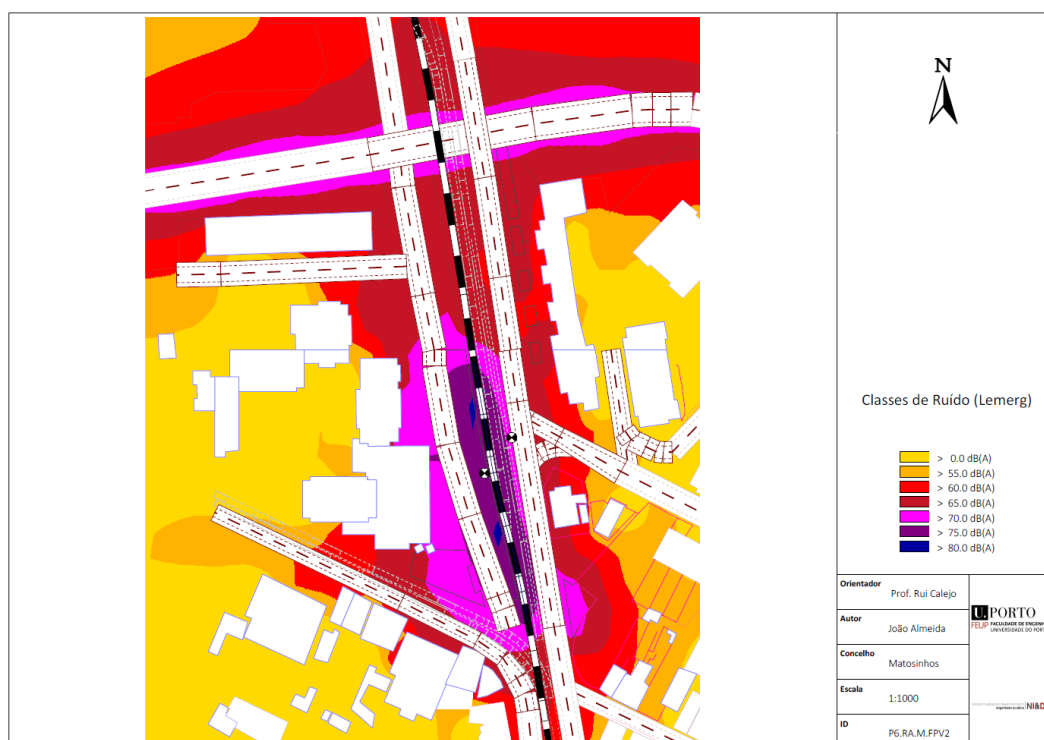


Fig.6.65 – Mapa de Ruído P6.RA.M.FPV2

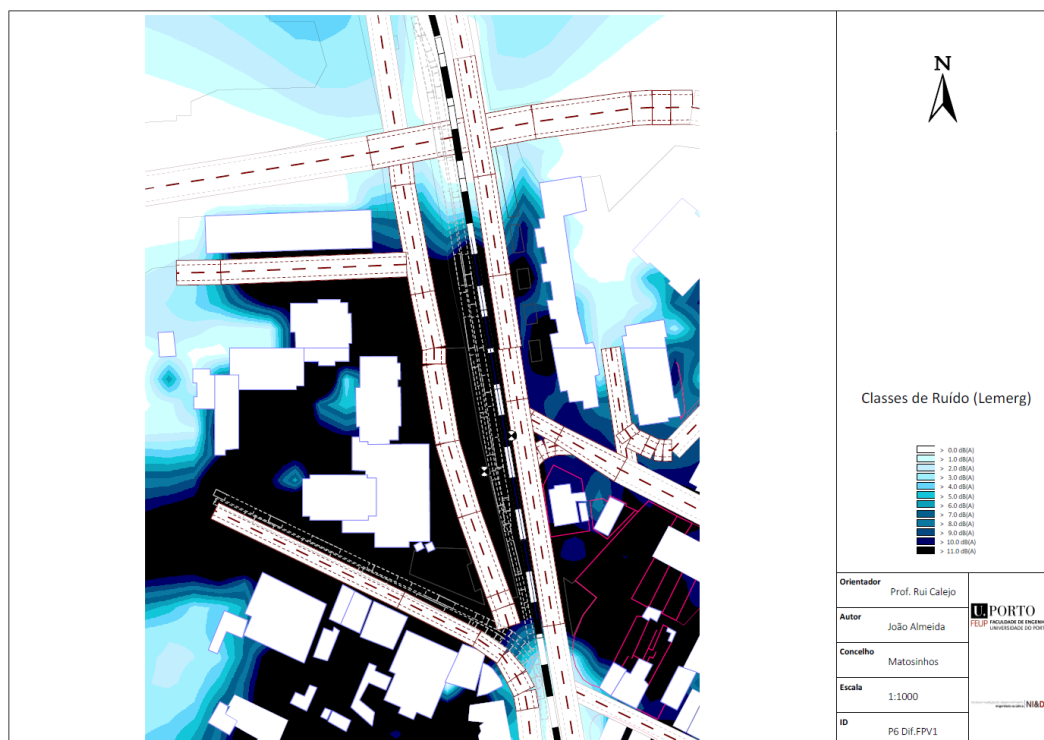


Fig.6.66 – Mapa P6 Dif.FPV1 - Agravamento devido a Fonte Patológica na Via 1

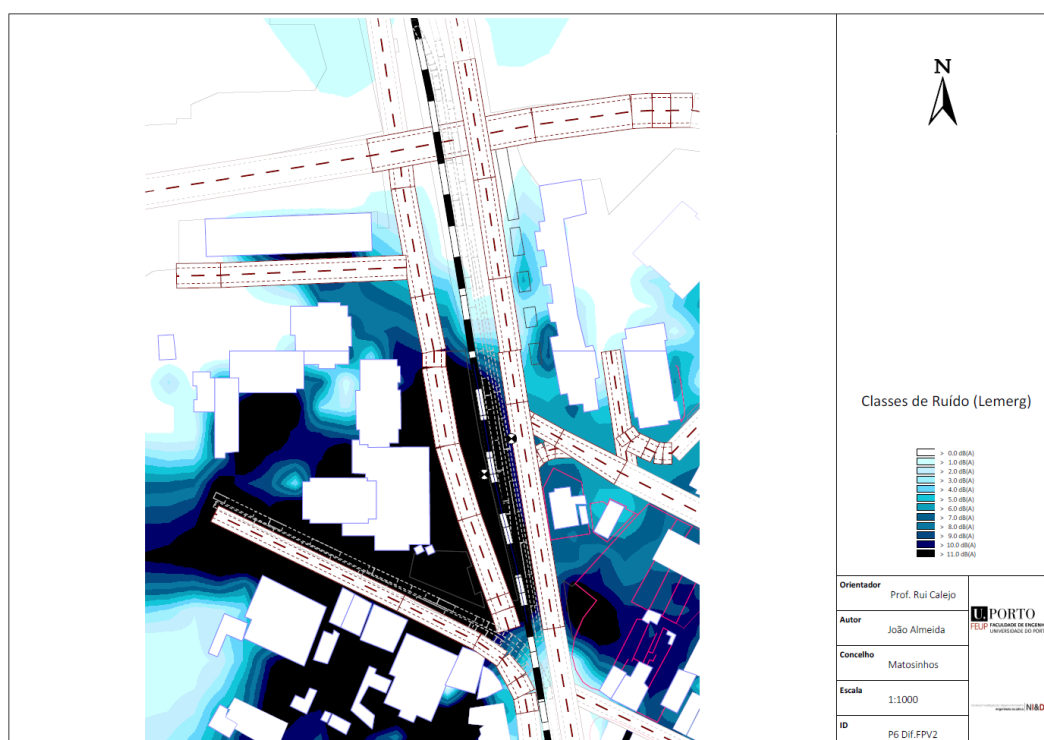


Fig.6.67 – Mapa P6 Dif.FPV2 - Agravamento devido a Fonte Patológica na Via 2

7

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1. CONCLUSÕES

Pretendeu-se com esta dissertação mostrar a importância de identificar, inventariar e caracterizar ruídos de fontes patológicas, ou seja, fontes que não são previsivelmente associadas a um dado campo sonoro.

Os ruídos tratados neste documento superam os níveis sonoros da normal passagem de veículos do metro, sem as fontes patológicas e são razão de incomodidade para habitantes e trabalhadores. Devem por isso ser considerados em estudos de acústica.

Porém, alguns destes ruídos não podem ser devidamente caracterizados apenas recorrendo aos indicadores prescritos na legislação em vigor. Outros parâmetros são necessários.

7.1.1. RUÍDO AMBIENTE

Nos capítulos 6.3.1., 6.4.1., 6.5.1., 6.6.1. e 6.7.1., apresentaram-se gráficos da evolução do LA_{eq} em função do tempo de medição, onde se pode notar que nestes 5 casos, ao fim de apenas 10 minutos acumulados de medições, a diferença de LA_{eq} após os 10 minutos e o LA_{eq} do tempo total de medições, local a local, é menor que 1 dB(A).

A ideia para a elaboração destes gráficos, surgiu com a dificuldade encontrada no Ponto 6. Esta zona tem a particularidade de ter momentos bastante calmos, ouvindo-se o bater de asas de uma pomba a cerca de 20 metros de distância e momentos bastante ruidosos, com a conjugação de camião de recolha de materiais recicláveis com outro trânsito rodoviário e avião a curvar em aproximação à pista. Neste ponto foi recolhido um maior tempo de medições e foi concebido o referido gráfico para verificação da estabilidade das medições. Com surpresa, verificou-se a tendência já acima descrita. Após apenas 10 minutos acumulados de medições, o valor de LA_{eq} é já muito próximo daquele que é o valor de LA_{eq} final.

7.1.2. RUÍDO *CURVE SQUEAL*

Este ruído depende de vários factores, mas o mais determinante é o raio de curvatura do traçado. Esta situação foi verificada no Ponto 1, onde na Via 1 o ruído de *curve squeal* se verificou com bastante intensidade, enquanto na Via 2 que tem um raio de curvatura maior, o ruído de *curve squeal* quase não

teve expressão. Aqui os veículos são todos do tipo Eurotram e a velocidade de circulação é semelhante.

De *Périard* [5], sabe-se que este ruído radia das rodas do veículo, e também do carril quando este está pontualmente apoiado. Este último não é este o caso do Metro do Porto, porém. Aliás, com o intuito de reduzir potenciais transmissões de vibrações aos edifícios adjacentes ao canal do metro, os carris desta ferrovia foram embebidos em material elastómero durante a construção.

Se conjuntamente notarmos que as bandas de frequências do *curve squeal* são as mesmas no Ponto 1 e no Ponto 2, nas duas vias com raios de curvatura diferentes, e que também no Ponto 2 só circulam veículos Eurotram, podemos então concluir que o *curve squeal* é radiado pelas rodas do veículo, vibrando nos seus modos próprios.

O *curve squeal* pode ser considerado um ruído de característica fortemente tonal, pois ao analisar o espectro de níveis sonoros no período de emergência, *L_{emerg}*, nos casos mais evidentes da Via 1 dos Pontos 1 e 2, verifica-se que existem bandas de frequência do ruído que excedem as bandas vizinhas em mais de 15 dB(A). No caso do Ponto 1, é particularmente evidente nas bandas de 1600Hz, 2000Hz e 8000Hz, enquanto no Ponto 2, se verifica nas bandas de 630Hz, 800Hz, 1600Hz e 2000Hz.

Isto traduz-se em incomodidade confirmada por queixas de moradores à empresa Metro do Porto sempre que estes ruídos reaparecem e perduram até a acção de mitigação ser implementada.

Verifica-se assim que a medição de níveis sonoros de longa duração, conforme prescrito actualmente em legislação, pode não ser adequado para um ruído desta natureza.

Adicionalmente àquele nível legal, deveria também considerar-se um valor máximo de nível sonoro.

7.1.3. ANÚNCIOS INFORMATIVOS NAS ESTAÇÕES

Olhando para o espectro de frequências deste ruído, facilmente se verifica que há duas bandas de frequências que se destacam das restantes: 200Hz e 250Hz. São gamas de frequências comuns na voz feminina, como é o caso das gravações dos avisos sonoros. A banda de 400Hz está na gama da frequência fundamental do som que se ouve antes e a separar os avisos informativos.

Verifica-se ainda que o aumento de nível sonoro ocorre apenas entre as bandas de frequência de 160Hz e 8000Hz inclusivé, podendo concluir-se que é esta a gama de resposta dos altifalantes.

Neste caso de fonte sonora, como se trata de voz e palavra, pode ainda haver uma alteração da tolerância ao estímulo sonoro, pelo morador ou trabalhador na área envolvente. Um bom descritor para este tipo de ruído poderá ter de envolver conhecimentos da área da Psicoacústica.

Sabendo que esta fonte sonora é necessária para o bom funcionamento da operação do sistema de metro ligeiro e sabendo que a empresa gestora já optou por uma solução de vários altifalantes com elevada direcionalidade apontados para o local de espera dos cais das estações, no sentido de conter o som nas áreas onde ele é necessário. Porém, no dia da medição, num feriado nacional, o aumento do nível sonoro relativamente ao ruído ambiente foi no espectro total de 13,5 dB(A) e de cerca de 17,5 dB(A) em cada uma das bandas de 200Hz, 250Hz, 3150Hz e 4000Hz.

Seria interessante nesta fonte, poder ser feita limitação da potência sonora, em função do nível sonoro do ruído ambiente.

7.1.4. RUÍDO DE IMPACTO – DEFEITO NA JUNTA DE SOLDADURA DO CARRIL

Num caso de projecto de uma nova linha de metro, um ruído como este caso particular do Ponto 4, não é previsível. No entanto, pode sempre ocorrer e é por isso interessante estudá-lo e perceber como se manifesta acusticamente.

Este ruído é muito consistente na sua ocorrência, e também nos níveis sonoros medidos, como se vê pelos parâmetros estatísticos. Após o impacto inicial das rodas, o ruído manifesta-se durante cerca de 10 metros, como um agravamento do nível sonoro num espectro alargado de frequências, desde a banda de terço de oitava de 40Hz até à banda de 20 000Hz. E nesse sentido, este tipo de ruído pode ser bem caracterizado como um agravamento ao LA_{eq} medido para a passagem do veículo do metro em condições normais, naquele troço.

7.1.5. CAMPAINHA EM ATRAVESSAMENTOS RODO-FERROVIÁRIOS DE NÍVEL

Olhando para o gráfico com o espectro de frequência, facilmente se lê que a energia sonora deste ruído se concentra nas altas e muito altas frequências, sendo particularmente significativo a partir dos 2500Hz.

É importante notar que os mapas de ruído são elaborados usando espectros de frequência em bandas de oitava entre a banda centrada em 31,5Hz até à banda centrada em 8 000Hz. Como se verifica, a campainha tem níveis sonoros elevados também na banda centrada em 16 000Hz.

Quer isto dizer portanto, que não foi possível simular correctamente o impacto deste ruído na envolvente do Ponto 5 através dos mapas de ruído realizados, devendo por isso fazer-se a leitura dos mesmos de forma bastante reservada e atender-se que o impacto ilustrado está por defeito.

7.1.6. CORRUGAÇÃO DO CARRIL

Este ruído é consistente nos níveis sonoros medidos, como se pode ver nos parâmetros estatísticos, em particular na Via 1. Na Via 2, existe um semáforo cerca de 50 metros antes do posto de medição para regular o entroncamento das linhas B e C do Metro do Porto, com a linha A. Isto significou que as medições incluem veículos a circular com diferentes velocidades e por isso há menor consistência nos resultados medidos nesta via.

Esta fonte, manifesta-se num agravamento do nível sonoro, num espectro alargado de frequências. E nesse sentido, este tipo de ruído pode ser bem caracterizado como um agravamento ao LA_{eq} medido para a passagem do veículo do metro em condições normais, naquele troço.

7.1.7. GRÁFICO RESUMO

O gráfico seguinte procura ilustrar numa só imagem, três níveis sonoros importantes para este estudo: LA_{emerg} e $LA_{máx}$ relativos aos Ruídos de Fontes Patológicas e LA_{eq} relativo ao Ruído Ambiente.

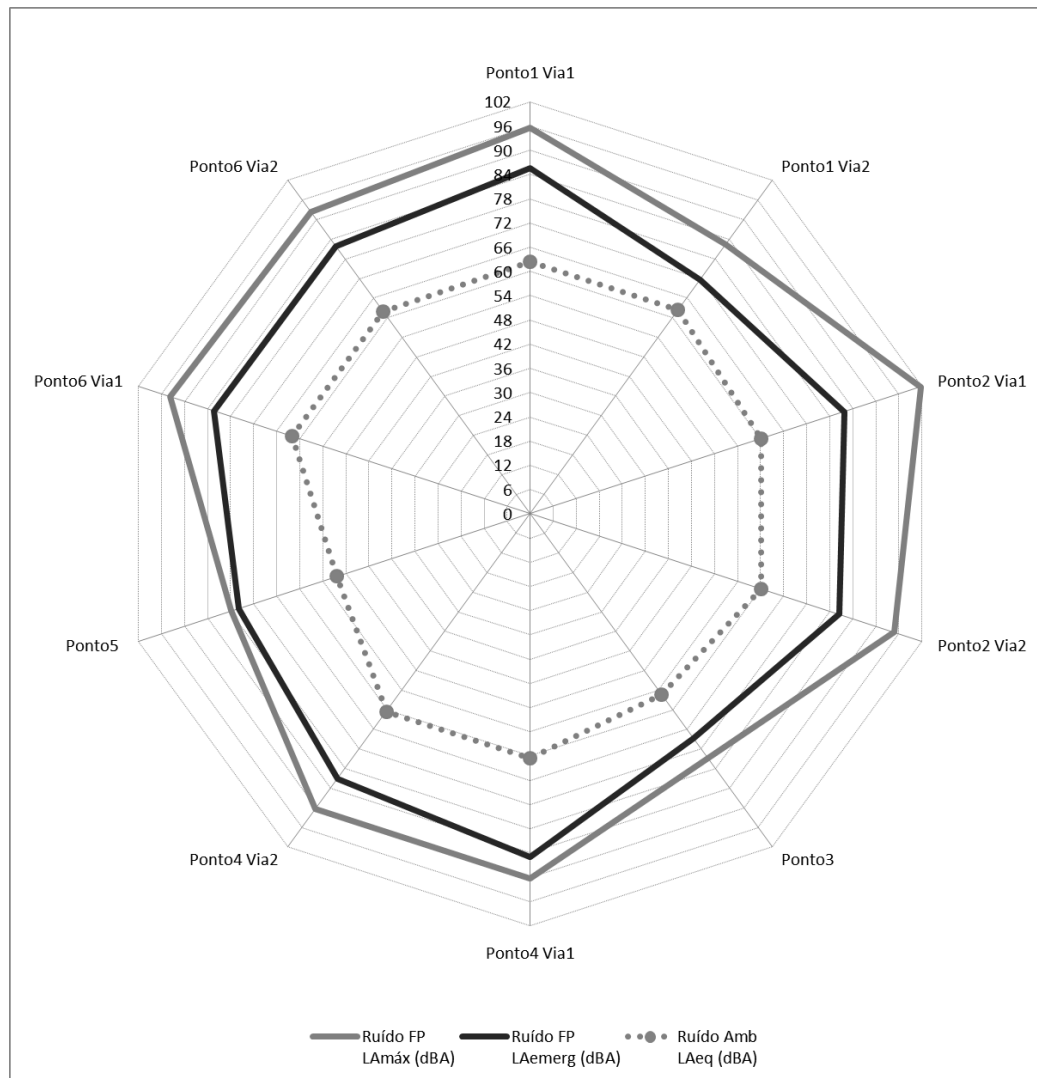


Fig.7.1 – LA_{emerg} e $LA_{máx}$ de Fontes Patológicas e LA_{eq} de Ruído Ambiente

7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Esta dissertação pretende dar um passo no sentido de criar um inventário de sons que compõem campos sonoros e criar parâmetros de medição simples de aplicar e que melhor caracterizem o som em questão.

O autor desta dissertação tem o sonho de que o ramo da acústica de exterior caminhe também no sentido de criar catálogos de ruídos com caracterização acústica, que podem ser ao nível municipal, ao nível de um edifício ou de uma indústria, ao nível de uma grande infra-estrutura de transporte ou outro que o caro leitor ambicione imaginar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] João Matos, Jorge Fradique, Luís Tavares, Margarida Guedes, Maria João Leite. *Guia prático para medições de ruído ambiente - no contexto do Regulamento Geral do Ruído tendo em conta a NP ISO 1996*. Agência Portuguesa do Ambiente, Amadora, 2011.
- [2] Rui Alexandre França de Jesus. *Ruído na Cidade do Porto*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
- [3] Jorge Viçoso Patrício. *Acústica nos Edifícios (6ª Edição)*. Verlag Dashöfer Portugal, 2010.
- [4] A. P. Oliveira de Carvalho. *Acústica Ambiental e de Edifícios*. FEUP, Porto, 2004.
- [5] Frédéric Jacques Périard. *Wheel-Rail Noise Generation: Curve Squealing by Trams*. Dissertação de Doutoramento, Universidade Técnica de Delft, 1998.
- [6] S. L. Grassie. *Rail corrugation: characteristics, causes, and treatments*. Proc. IMechE Vol. 223 Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 2009, Professional Engineering Publishing Ltd, Westminster
- [7] D. Alarcão, J. L. Bento Coelho, S. Gerges. *Caracterização Acústica de Campainhas de Passagem de Nível*. Acústica 2008 (Universidade de Coimbra), 20-22 Outubro 2008, Coimbra, Universidade de Coimbra, Coimbra.

ANEXO 1

RELATÓRIOS DE MEDIÇÕES

- Relatório de Medição do Ponto 1
- Relatório de Medição do Ponto 2
- Relatório de Medição do Ponto 3
- Relatório de Medição do Ponto 4
- Relatório de Medição do Ponto 5
- Relatório de Medição do Ponto 6

RELATÓRIO DE MEDIÇÃO

PONTO 1

Curva do traçado do metro, no gaveto das Rua Alfredo Allen e Rua Dr. Bernardino de Almeida, freguesia de Paranhos, concelho do Porto.

POSTO

- 1 41° 10.706'N, 8° 36.352'W
- 2 41° 10.715'N, 8° 36.360'W

DATA

06.10.2016

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

Céu limpo. Vento fraco a nulo. Superfície seca.

EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO

Sonómetro integrador de classe de precisão 1, marca 01dB Metravib, modelo Blue Solo.

POSICIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

Altura da medição de 1,5m acima do solo. Sonómetro sobre tripé.

Distância horizontal à Fonte Patológica da Via 1 de 2,5m.

Distância horizontal à Fonte Patológica da Via 2 de 2,5m.

PRINCIPAIS FONTES DE RUÍDO (EXTRA METRO DO PORTO)

Neste local a principal fonte de ruído vem do trânsito rodoviário da Rua Alfredo Allen e Rua Dr. Bernardino de Almeida.

Nº Medição	Posto	Ruído	Início (hh:mm)	Duração (s)	LAeq (dBA)	LAmáx (dBA)	LAmín (dBA)	LA95 (dBA)	LA50 (dBA)	LA05 (dBA)
1	2	RA	15:14	90	63,6	75,2	58,2	60,5	63,4	66,2
3	2	RA	15:22	90	62,8	71,6	58,0	58,9	61,7	65,9
10	2	RFP.V2	15:46	19	71,2	75,4	63,2	63,7	70,9	73,8
11	2	RA	15:50	65	63,4	67,1	57,8	58,3	62,6	66,6
13	2	RFP.V2	15:52	20	72,9	82,5	59,6	62,7	70,8	80,8
15	2	RFP.V2	15:59	19	71,1	74,8	59,6	61,0	70,6	74,2
18	1	RFP.V1	16:10	18	87,8	95,5	60,2	63,1	80,7	95,0
19	1	RA	16:11	73	60,7	63,7	54,5	55,5	60,6	62,5
21	1	RFP.V1	16:16	18	81,5	92,6	59,6	65,1	75,0	90,6
23	1	RA	16:20	134	61,2	65,6	55,2	56,6	60,4	64,6
24	1	RFP.V1	16:23	16	85,0	91,5	61,3	67,2	78,7	91,3

RA-Ruído Ambiente; RFP-Ruído de Fonte Patológica; V1-Via 1; V2-Via 2;

RELATÓRIO DE MEDIÇÃO

PONTO 2

Curva do traçado do Metro do Porto junto ao mercado de Matosinhos, no extremo da Rua Brito Capelo, freguesia de Matosinhos, concelho de Matosinhos.

POSTO

- 1 41° 11.230'N, 8° 41.630'W
- 2 41° 11.231'N, 8° 41.636'W

DATA

01.12.2016

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

Céu limpo. Vento fraco. Superfície seca.

EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO

Sonómetro integrador de classe de precisão 1, marca 01dB Metravib, modelo Blue Solo.

POSICIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

Altura da medição de 1,5m acima do solo. Sonómetro sobre tripé.

Distância horizontal à Fonte Patológica da Via 1 de 1,5m.

Distância horizontal à Fonte Patológica da Via 2 de 1,5m.

PRINCIPAIS FONTES DE RUÍDO (EXTRA METRO DO PORTO)

Neste local as principais fontes de ruído são do trânsito rodoviário da Avenida Engenheiro Duarte Pacheco e ruas envolventes ao Mercado de Matosinhos, paragem de autocarro e Porto de Leixões.

Nº Medição	Posto	Ruído	Início (hh:mm)	Duração (s)	LAeq (dBA)	LAmáx (dBA)	LAmín (dBA)	LA95 (dBA)	LA50 (dBA)	LA05 (dBA)
61	2	RFP.V2	16:38	21	75,3	81,0	61,4	61,8	74,5	78,9
62	2	RA	16:39	300	60,7	71,2	53,3	54,7	58,7	65,0
63	1	RFP.V1	16:45	30	83,8	97,4	53,4	54,9	61,8	88,3
64	2	RA	16:47	126	59,5	68,5	53,3	55,1	57,9	63,1
65	2	RFP.V2	16:50	24	81,5	91,4	58,8	60,6	68,9	87,4
66	2	RA	16:54	242	58,6	69,5	52,4	53,9	57,7	61,8
67	2	RFP.V2	16:59	20	83,0	92,6	59,6	60,4	73,6	91,3
68	1	RFP.V1	17:04	20	83,4	95,5	57,3	58,6	68,6	92,0
69	2	RFP.V2	17:09	23	76,3	84,6	59,9	61,1	71,7	81,6
71	1	RFP.V1	17:15	17	71,8	78,7	58,7	60,9	70,5	75,7
72	2	RFP.V2	17:20	23	76,6	83,8	58,0	58,4	70,2	82,7
73	2	RA	17:21	220	60,9	71,5	55,0	56,2	59,1	64,9
74	2	RFP.V2	17:30	20	74,7	82,0	59,5	61,4	71,9	79,6
75	1	RFP.V1	17:34	22	76,6	89,6	58,4	60,5	70,0	82,1
76	2	RFP.V2	17:39	19	80,7	88,1	60,7	62,3	76,8	87,1
77	2	RA	17:40	302	57,7	66,4	49,3	51,5	56,6	61,3
78	1	RFP.V1	17:47	22	83,8	95,3	58,2	60,7	67,3	91,7
79	2	RA	17:52	113	58,9	70,2	51,6	52,2	57,1	62,5
80	1	RFP.V1	17:54	22	75,8	88,0	60,5	60,6	68,8	79,6
81	2	RA	17:56	168	63,9	81,7	52,4	53,6	58,8	66,8
82	2	RFP.V2	17:59	20	82,8	90,7	59,1	61,2	73,9	89,4
83	1	RFP.V1	18:04	26	86,7	101,7	57,1	57,8	65,1	91,3
85	2	RFP.V2	18:09	24	73,2	80,4	57,2	58,1	70,2	79,3
86	2	RA	18:09	300	59,4	75,0	52,6	54,5	58,1	62,3
87	1	RFP.V1	18:15	19	72,9	78,7	59,6	61,8	71,6	77,8
88	2	RFP.V2	18:20	18	85,1	94,7	60,6	63,7	77,0	92,3
89	1	RFP.V1	18:25	21	69,7	84,0	61,3	61,6	68,1	73,8
95	2	RA	18:51	300	60,6	71,3	51,4	53,2	58,2	65,6

RA-Ruído Ambiente; RFP-Ruído de Fonte Patológica; V1-Via 1; V2-Via 2;

RELATÓRIO DE MEDIÇÃO

PONTO 3

Estação de Brito Capelo do Metro do Porto, a meio da Rua Brito Capelo, freguesia de Matosinhos, concelho de Matosinhos.

POSTO

1 41° 11.036'N, 8° 41.497'W

DATA

08.12.2016

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

Céu limpo. Vento fraco ou nulo. Superfície seca.

EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO

Sonómetro integrador de classe de precisão 1, marca 01dB Metravib, modelo Blue Solo.

POSICIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

Altura da medição de 1,5m acima do solo. Sonómetro sobre tripé.
No cais da estação, na Via 2. Há 4 altifalantes por cais, num total de 8.

PRINCIPAIS FONTES DE RUÍDO (EXTRA METRO DO PORTO)

Durante as medições, as principais fontes de ruído foram o trânsito pedonal e actividade comercial na Rua Brito Capelo, incluindo uma esplanada de café, e os clientes que se juntam nos cais à espera do metro. Esporadicamente passam veículos rodoviários.

Nº Medição	Posto	Ruído	Início (hh:mm)	Duração (s)	LAeq (dBA)	LAmáx (dBA)	LAmín (dBA)	LA95 (dBA)	LA50 (dBA)	LA05 (dBA)
9	1	RFP	17:09	16	69,7	74,9	56,4	60,4	68,5	74,3
10	1	RA	17:11	99	55,9	63,3	50,3	51,6	54,4	59,8
13	1	RA	17:15	300	55,5	63,9	47,9	49,8	54,0	59,6
15	1	RA	17:24	248	56,3	73,6	47,1	49,3	52,8	60,6
16	1	RFP	17:30	15	68,8	74,2	51,2	52,3	67,5	73,8
17	1	RFP	17:30	14	67,8	72,9	53,1	54,8	66,7	71,2
19	1	RFP	17:39	14	69,1	73,8	53,9	56,3	68,1	72,9
20	1	RFP	17:44	15	67,7	73,2	50,4	51,4	66,9	71,6
21	1	RA	17:46	210	54,9	66,1	48,2	49,9	53,3	58,6
22	1	RFP	17:50	15	68,9	73,2	54,5	57,8	67,3	73,1
23	1	RFP	18:00	14	69,1	73,0	54,0	57,2	68,3	72,6
24	1	RFP	18:00	15	68,4	73,1	54,1	57,3	67,9	72,7
25	1	RA	18:03	180	55,6	64,7	48,2	49,9	53,7	59,9
26	1	RA	18:06	121	54,5	62,9	47,4	48,9	52,3	59,8
27	1	RFP	18:08	14	68,9	73,7	50,8	51,2	69,2	73,3
28	1	RFP	18:11	14	68,3	72,6	56,6	56,5	66,9	71,7
29	1	RA	18:14	180	56,4	68,4	46,2	49,6	54,2	61,4
30	1	RA	18:17	96	53,5	60,3	46,6	48,2	51,9	57,9
31	1	RFP	18:20	14	69,7	74,2	50,1	54,6	69,0	73,8
32	1	RFP	18:29	14	69,7	74,3	52,8	57,6	69,2	72,8
33	1	RA	18:33	180	56,0	69,3	45,4	46,5	50,3	62,7
34	1	RA	18:36	180	53,0	64,2	46,2	46,9	49,7	58,1

RA-Ruído Ambiente; RFP-Ruído de Fonte Patológica; V1-Via 1; V2-Via 2;

RELATÓRIO DE MEDIÇÃO

PONTO 4

Cruzamento da Rua Brito Capelo e Rua Godinho, freguesia de Matosinhos, concelho de Matosinhos.

POSTO

- 1 41° 10.950'N, 8° 41.403'W
- 2 41° 10.943'N, 8° 41.396'W

DATA

08.12.2016

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

Céu limpo. Vento fraco. Superfície seca.

EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO

Sonómetro integrador de classe de precisão 1, marca 01dB Metravib, modelo Blue Solo.

POSICIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

Altura da medição de 1,5m acima do solo. Sonómetro sobre tripé.

Distância horizontal à Fonte Patológica da Via 1 de 2m.

Distância horizontal à Fonte Patológica da Via 2 de 5m.

PRINCIPAIS FONTES DE RUÍDO (EXTRA METRO DO PORTO)

Neste local as principais fontes de ruído são do trânsito rodoviário da Rua Godinho, trânsito pedonal e actividade comercial da Rua Brito Capelo e veículos rodoviários esporádicos na Rua Brito Capelo.

Nº Medição	Posto	Ruído	Início (hh:mm)	Duração (s)	LAeq (dBA)	LAmáx (dBA)	LAmín (dBA)	LA95 (dBA)	LA50 (dBA)	LA05 (dBA)
42	1	RA	16:57	56	61,7	73,2	50,8	51,6	55,8	69,6
43	1	RA	17:00	206	60,1	76,4	50,0	52,7	57,4	63,9
44	1	RFP.V1	17:04	14	84,5	88,8	61,7	74,2	83,1	88,5
47	2	RA	17:09	174	62,6	72,8	48,8	52,5	59,8	67,8
48	2	RA	17:12	156	60,0	69,7	51,9	53,4	57,9	64,4
50	2	RA	17:16	194	59,7	69,1	50,2	53,3	57,9	64,8
52	2	RA	17:20	211	59,3	74,5	50,0	52,4	56,1	64,4
54	2	RA	17:25	182	62,6	74,6	51,9	53,4	59,6	67,7
55	2	RFP.V2	17:28	6	80,7	83,5	68,3	69,3	80,5	83,4
56	1	RA	17:29	263	59,3	73,8	49,7	50,9	56,6	64,5
57	1	RFP.V1	17:34	7	85,0	88,5	62,7	69,7	83,2	88,4
58	1	RA	17:34	201	58,9	70,0	50,9	52,1	56,2	64,1
59	1	RFP.V1	17:38	7	83,9	88,3	66,6	69,3	83,2	88,2
60	2	RFP.V2	17:39	13	80,9	84,0	68,9	71,3	80,8	83,4
61	2	RA	17:40	147	60,8	70,0	52,0	53,3	57,7	66,5
62	2	RA	17:44	353	61,4	76,5	50,7	52,7	57,7	65,6
63	2	RFP.V2	17:51	13	81,1	84,2	68,9	75,2	80,6	83,6
64	1	RFP.V1	17:53	12	85,3	90,1	62,9	77,3	84,1	88,9
65	2	RFP.V2	17:55	8	78,6	81,3	66,7	68,4	78,5	81,2
67	2	RFP.V2	18:05	10	83,5	87,1	69,5	78,3	82,4	86,1
68	1	RFP.V1	18:06	13	85,5	90,4	64,8	78,5	84,1	89,7

RA-Ruído Ambiente; RFP-Ruído de Fonte Patológica; V1-Via 1; V2-Via 2;

RELATÓRIO DE MEDIÇÃO

PONTO 5

Atravessamento de Nível da Rua de Matos, a Sul da Estação de Metro Pedras Rubras, freguesia de Moreira, concelho da Maia

POSTO

1 41° 14.601'N, 8° 39.614'W

DATA

08.12.2016

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

Céu limpo. Vento fraco ou nulo. Superfície seca.

EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO

Sonómetro integrador de classe de precisão 1, marca 01dB Metravib, modelo Blue Solo.

POSICIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

Altura da medição de 1,5m acima do solo. Sonómetro sobre tripé.

A 2m na horizontal do poste da campainha. Campainha a 2,5m de altura.

PRINCIPAIS FONTES DE RUÍDO (EXTRA METRO DO PORTO)

Durante as medições as principais fontes de ruído foram o trânsito rodoviário da Rua da Oliveiras e ruído de vizinhança.

Nº Medição	Posto	Ruído	Início (hh:mm)	Duração (s)	LAeq (dBA)	LAmáx (dBA)	LAmín (dBA)	LA95 (dBA)	LA50 (dBA)	LA05 (dBA)
1	1	RA	15:12	300	51,2	63,6	41,6	43,5	47,6	56,8
2	1	RFP	15:19	79	75,3	77,8	71,5	72,2	75,3	77,2
3	1	RA	15:21	180	49,1	58,0	42,5	43,2	45,8	54,4
4	1	RA	15:24	300	50,4	60,8	41,5	42,5	47,8	55,4
5	1	RFP	15:32	39	74,9	77,5	67,2	71,2	74,9	77,0
6	1	RFP	15:34	55	74,9	77,2	55,0	71,7	74,8	76,8
7	1	RA	15:35	300	50,0	62,5	39,9	40,5	45,7	56,2

RA-Ruído Ambiente; RFP-Ruído de Fonte Patológica; V1-Via 1; V2-Via 2;

RELATÓRIO DE MEDIÇÃO

PONTO 6

Avenida Fabril do Norte no entroncamento da Rua Fradique Morujão, freguesia da Senhora da Hora, concelho de Matosinhos.

POSTO

- 1 41° 11.467'N, 8° 39.307'W
- 2 41° 11.460'N, 8° 39.315'W

DATA

08.12.2016

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

Céu limpo. Vento fraco. Superfície seca.

EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO

Sonómetro integrador de classe de precisão 1, marca 01dB Metravib, modelo Blue Solo.

POSICIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

Altura da medição de 1,5m acima do solo. Sonómetro sobre tripé.

Distância horizontal à Fonte Patológica da Via 1 de 1,2m.

Distância horizontal à Fonte Patológica da Via 2 de 1,5m.

PRINCIPAIS FONTES DE RUÍDO (EXTRA METRO DO PORTO)

Neste local as principais fontes de ruído são do trânsito rodoviário da Av. Fabril do Norte e da Av. Vasco da Gama. O local apresenta grande amplitude de intensidade de ruído.

Nº Medição	Posto	Ruído	Início (hh:mm)	Duração (s)	LAeq (dBA)	LAmáx (dBA)	LAmín (dBA)	LA95 (dBA)	LA50 (dBA)	LA05 (dBA)
1	1	RA	11:25	70	62,7	77,6	51,2	51,7	55,2	66,8
2	1	RA	11:27	126	59,0	74,1	47,9	49,1	53,1	64,7
3	1	RA	11:30	108	55,5	65,2	49,3	50,3	54,1	58,9
4	1	RA	11:34	48	53,8	62,2	45,0	45,1	49,9	59,6
5	1	RA	11:35	48	57,6	65,1	48,7	48,9	55,0	62,0
6	1	RA	11:39	85	66,6	80,6	47,6	49,4	54,9	74,6
7	1	RA	11:41	97	62,4	79,0	47,6	48,4	52,8	66,1
8	1	RA	11:43	61	54,8	64,6	47,0	48,6	52,3	58,8
9	1	RA	11:45	75	63,1	74,9	47,0	47,3	55,9	70,6
10	1	RA	11:47	171	63,7	80,5	47,9	48,6	55,2	70,3
11	1	RA	11:51	158	56,6	74,4	46,4	48,2	52,0	60,8
12	1	RA	11:55	75	56,5	63,9	50,4	51,1	54,8	61,5
13	1	RA	11:57	119	55,8	68,1	44,0	44,9	52,0	60,9
14	1	RA	12:00	154	59,4	76,4	46,5	46,9	52,9	62,8
15	1	RA	12:03	233	63,0	79,0	46,7	50,2	55,9	66,5
16	1	RA	12:10	82	56,3	65,9	46,0	46,5	53,3	60,7
17	1	RA	12:13	140	66,1	85,5	44,4	46,2	53,7	69,4
18	1	RA	12:17	246	58,0	77,6	44,4	46,5	52,8	60,4
19	1	RA	12:22	130	62,0	78,2	49,5	50,6	56,3	66,6
20	1	RA	12:25	54	63,9	76,2	48,1	48,8	55,4	72,0
21	1	RA	12:27	132	65,5	79,0	50,1	50,7	56,1	73,6
22	1	RA	12:30	124	60,3	72,4	49,4	51,1	56,0	66,3
23	1	RA	12:35	69	66,0	83,1	51,9	52,8	55,7	68,8
26	1	RFP.V1	14:38	20	81,7	90,0	59,0	61,4	65,7	89,9
27	1	RFP.V1	14:45	18	81,3	90,7	56,5	58,8	66,8	88,9
28	1	RFP.V1	14:49	22	84,1	93,7	59,4	60,9	68,2	91,5
29	1	RFP.V1	14:55	19	83,9	93,3	58,4	58,6	69,8	92,7
30	2	RFP.V2	14:59	30	81,9	89,0	55,1	56,6	73,4	87,9
31	1	RFP.V1	15:03	18	83,5	91,6	58,4	59,4	70,1	91,4
32	1	RFP.V1	15:09	21	82,7	91,1	57,2	63,1	70,5	90,6
33	2	RFP.V2	15:12	18	84,3	92,5	55,2	62,8	73,6	91,9

Nº Medição	Posto	Ruído	Início (hh:mm)	Duração (s)	LAeq (dBA)	LAmáx (dBA)	LAmín (dBA)	LA95 (dBA)	LA50 (dBA)	LA05 (dBA)
34	2	RFP.V2	15:23	17	79,3	88,5	60,9	61,7	69,2	86,3
35	2	RFP.V2	15:28	30	74,0	80,9	55,5	56,0	66,8	79,5
36	2	RFP.V2	15:30	19	82,9	90,9	62,1	63,5	70,2	90,4
37	2	RFP.V2	15:32	25	84,8	92,4	60,7	67,0	72,5	91,8
38	2	RFP.V2	15:35	17	77,2	84,6	58,3	61,9	66,1	84,0
39	1	RFP.V1	15:39	23	81,0	90,8	58,0	61,9	65,7	89,0
40	1	RFP.V1	15:44	22	82,0	91,8	55,7	58,1	65,5	90,2
41	1	RFP.V1	15:46	17	76,9	85,4	57,1	61,5	68,0	83,9

RA-Ruído Ambiente; RFP-Ruído de Fonte Patológica; V1-Via 1; V2-Via 2;

ANEXO 2

MAPAS DE RUÍDO

O Anexo 2 está disponível no CD-ROM que acompanha este documento.

Nome do ficheiro: **Dissertacao_MIEC_FEUP_RFPSML_2017.pdf**

A2.1 – Ponto 1: 6 Mapas de Ruído

A2.2 – Ponto 2: 6 Mapas de Ruído

A2.3 – Ponto 3: 3 Mapas de Ruído

A2.4 – Ponto 4: 6 Mapas de Ruído

A2.5 – Ponto 5: 3 Mapas de Ruído

A2.6 – Ponto 6: 6 Mapas de Ruído

A2.1 – Ponto 1: 6 Mapas de Ruído



Classes de Ruído (LAeq)

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

Orientador Prof. Rui Calejo

Autor João Almeida

Concelho Porto

Escala 1:1200

ID P1.RA





Classes de Ruído (LAeq)

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

Orientador Prof. Rui Calejo

Autor João Almeida

Concelho Porto

Escala 1:1200

ID P1.RA.M





Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

Orientador Prof. Rui Calejo

Autor João Almeida

Concelho Porto

Escala 1:1200

ID P1.RA.M.FPV1





Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

Orientador Prof. Rui Calejo

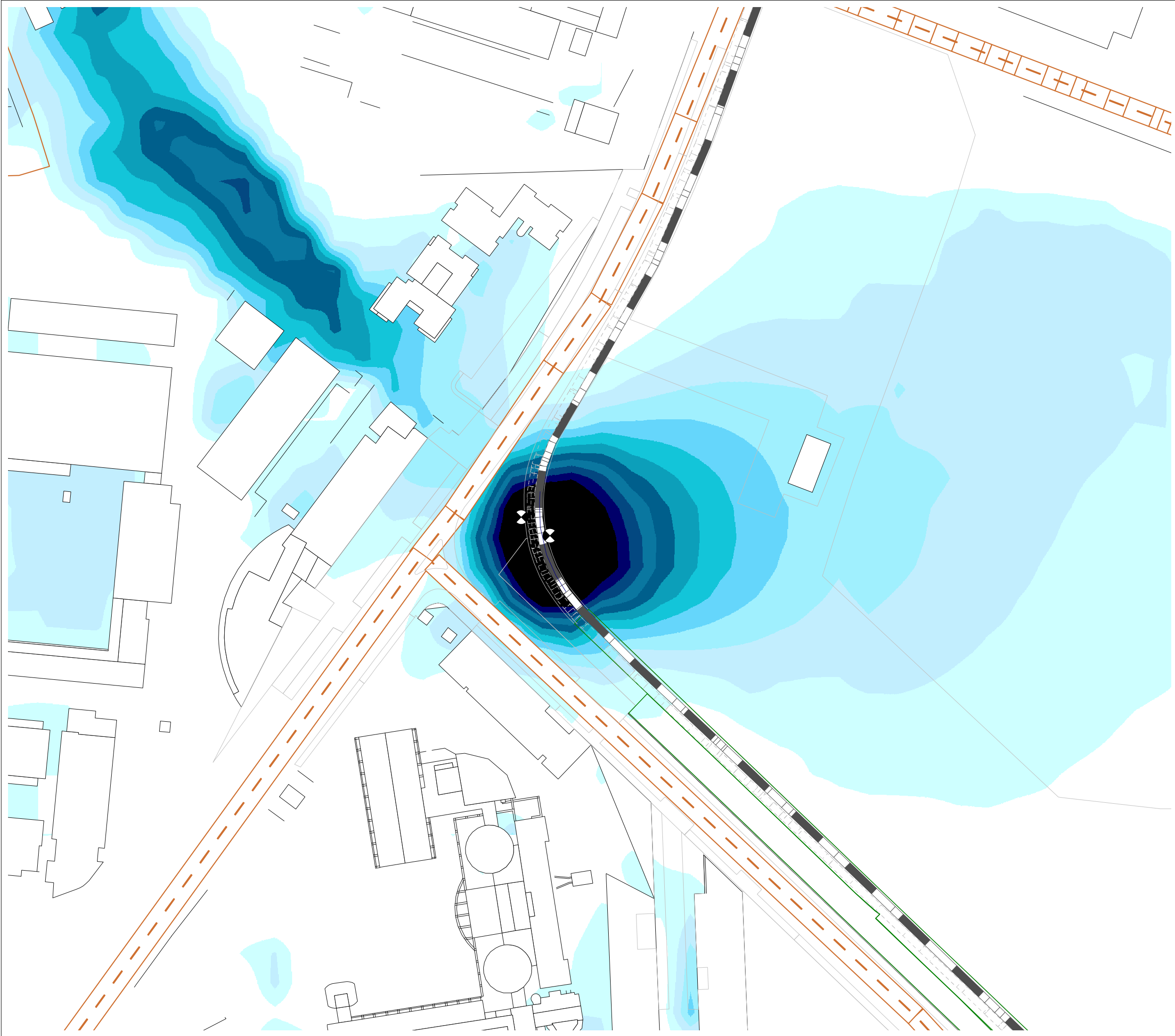
Autor João Almeida

Concelho Porto

Escala 1:1200

ID P1.RA.M.FPV2





Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 1.0 dB(A)
- > 2.0 dB(A)
- > 3.0 dB(A)
- > 4.0 dB(A)
- > 5.0 dB(A)
- > 6.0 dB(A)
- > 7.0 dB(A)
- > 8.0 dB(A)
- > 9.0 dB(A)
- > 10.0 dB(A)
- > 11.0 dB(A)

Orientador	Prof. Rui Calejo
Autor	João Almeida
Concelho	Porto
Escala	1:1200
ID	P1 Dif.FPV1



Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 1.0 dB(A)
- > 2.0 dB(A)
- > 3.0 dB(A)
- > 4.0 dB(A)
- > 5.0 dB(A)
- > 6.0 dB(A)
- > 7.0 dB(A)
- > 8.0 dB(A)
- > 9.0 dB(A)
- > 10.0 dB(A)
- > 11.0 dB(A)

Orientador Prof. Rui Calejo

Autor João Almeida

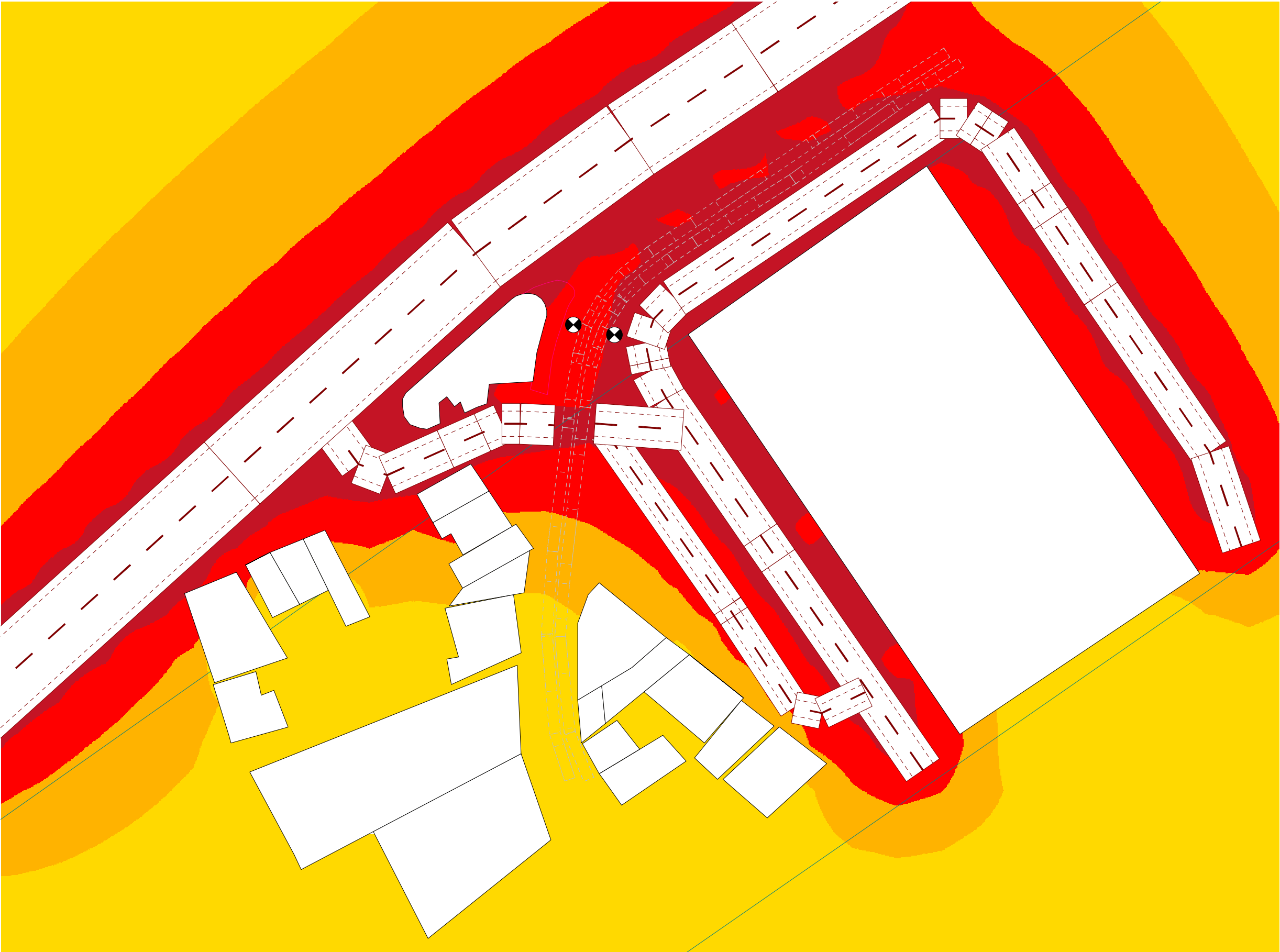
Concelho Porto

Escala 1:1200

ID P1 Dif.FPV2



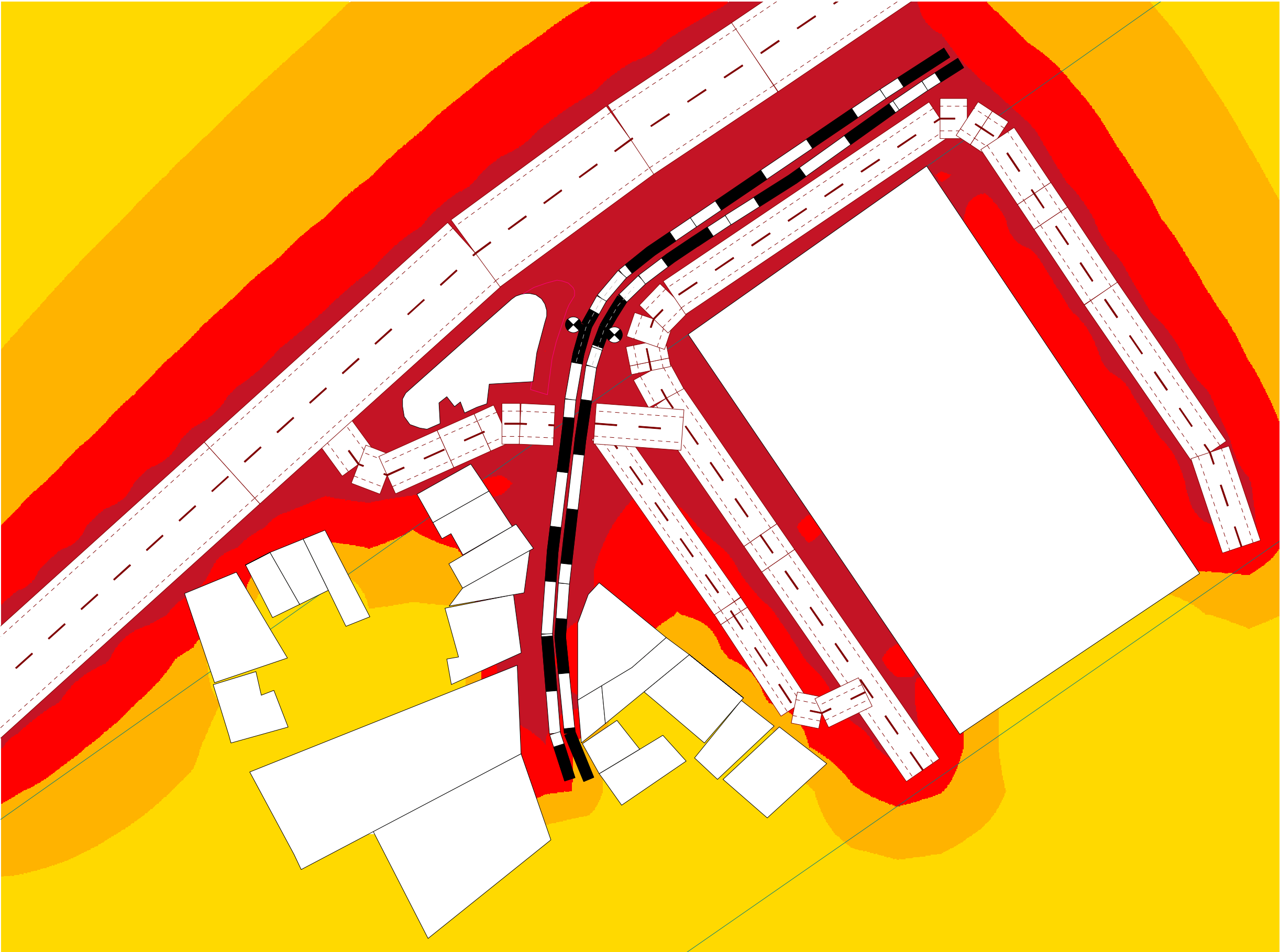
A2.2 – Ponto 2: 6 Mapas de Ruído



Classes de Ruído (LAeq)

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

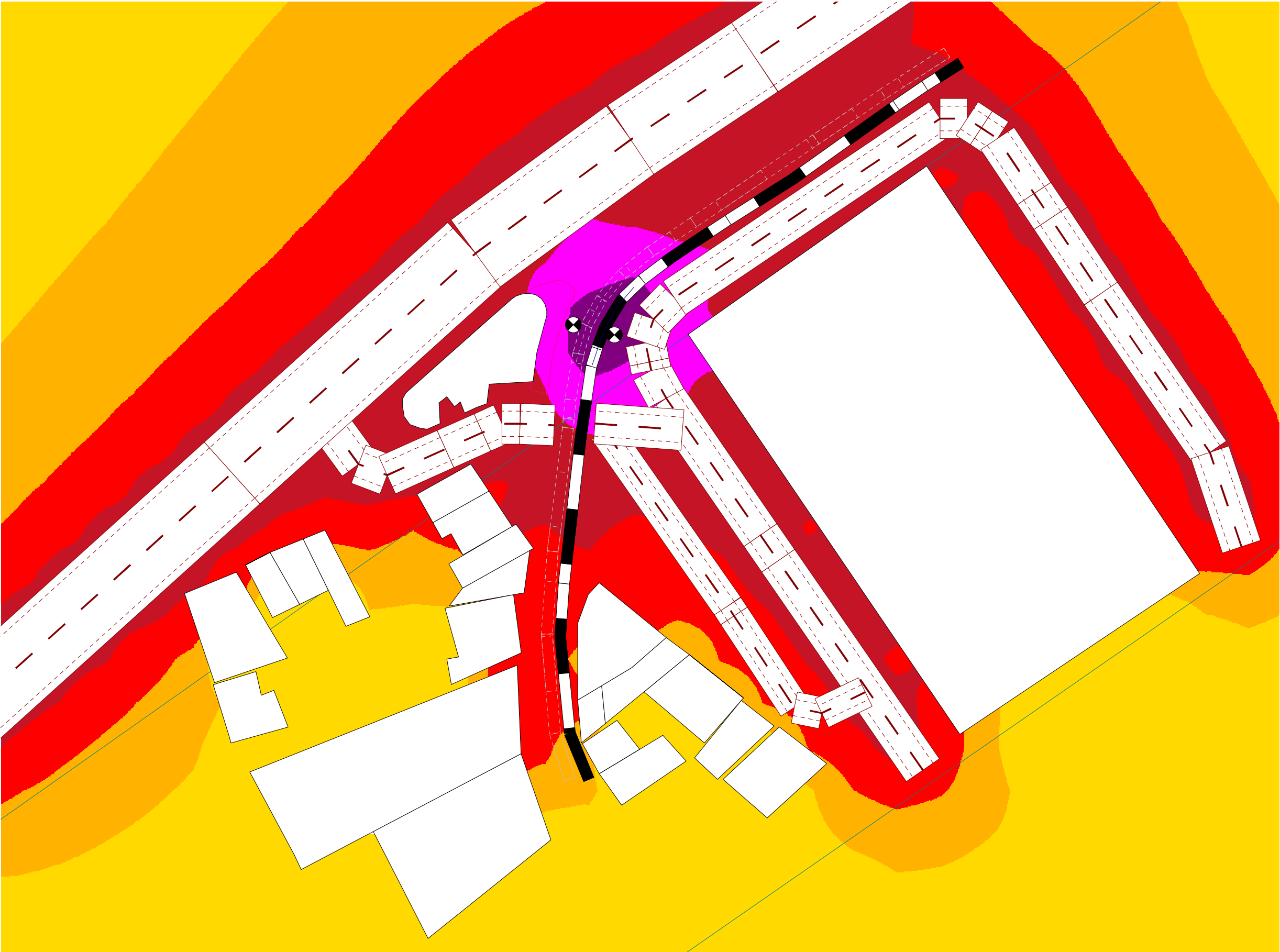
Orientador	Prof. Rui Calejo
Autor	João Almeida
Concelho	Matosinhos
Escala	1:900
ID	P2.RA



Classes de Ruído (LAeq)

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

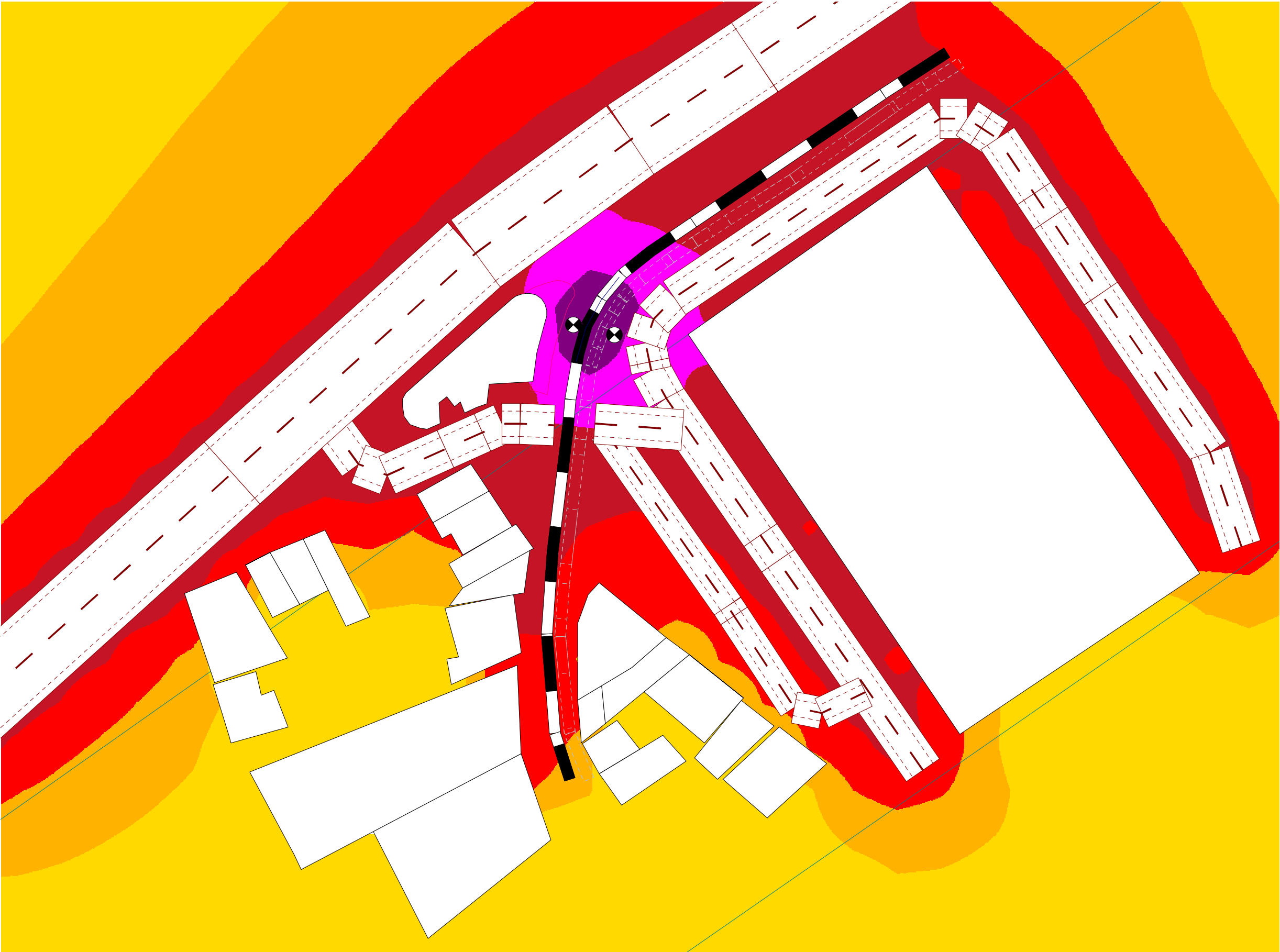
Orientador	Prof. Rui Calejo
Autor	João Almeida
Concelho	Matosinhos
Escala	1:900
ID	P2.RA.M



Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

Orientador	Prof. Rui Calejo
Autor	João Almeida
Concelho	Matosinhos
Escala	1:900
ID	P2.RA.M.FPV1



Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

Orientador	Prof. Rui Calejo
Autor	João Almeida
Concelho	Matosinhos
Escala	1:900
ID	P2.RA.M.FPV2



Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 1.0 dB(A)
- > 2.0 dB(A)
- > 3.0 dB(A)
- > 4.0 dB(A)
- > 5.0 dB(A)
- > 6.0 dB(A)
- > 7.0 dB(A)
- > 8.0 dB(A)
- > 9.0 dB(A)
- > 10.0 dB(A)
- > 11.0 dB(A)

Orientador	Prof. Rui Calejo
Autor	João Almeida
Concelho	Matosinhos
Escala	1:900
ID	P2 Dif.FPV1

U.PORTO

FEUP

FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

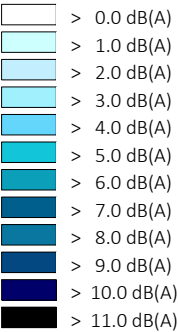
núcleos investigação desenvolvimento

engenharia acústica

NI&DEA



Classes de Ruído (Lemerg)



Orientador Prof. Rui Calejo

Autor João Almeida

Concelho Matosinhos

Escala 1:900

ID P2 Dif.FPV2



A2.3 – Ponto 3: 3 Mapas de Ruído



Classes de Ruído (LAeq)

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

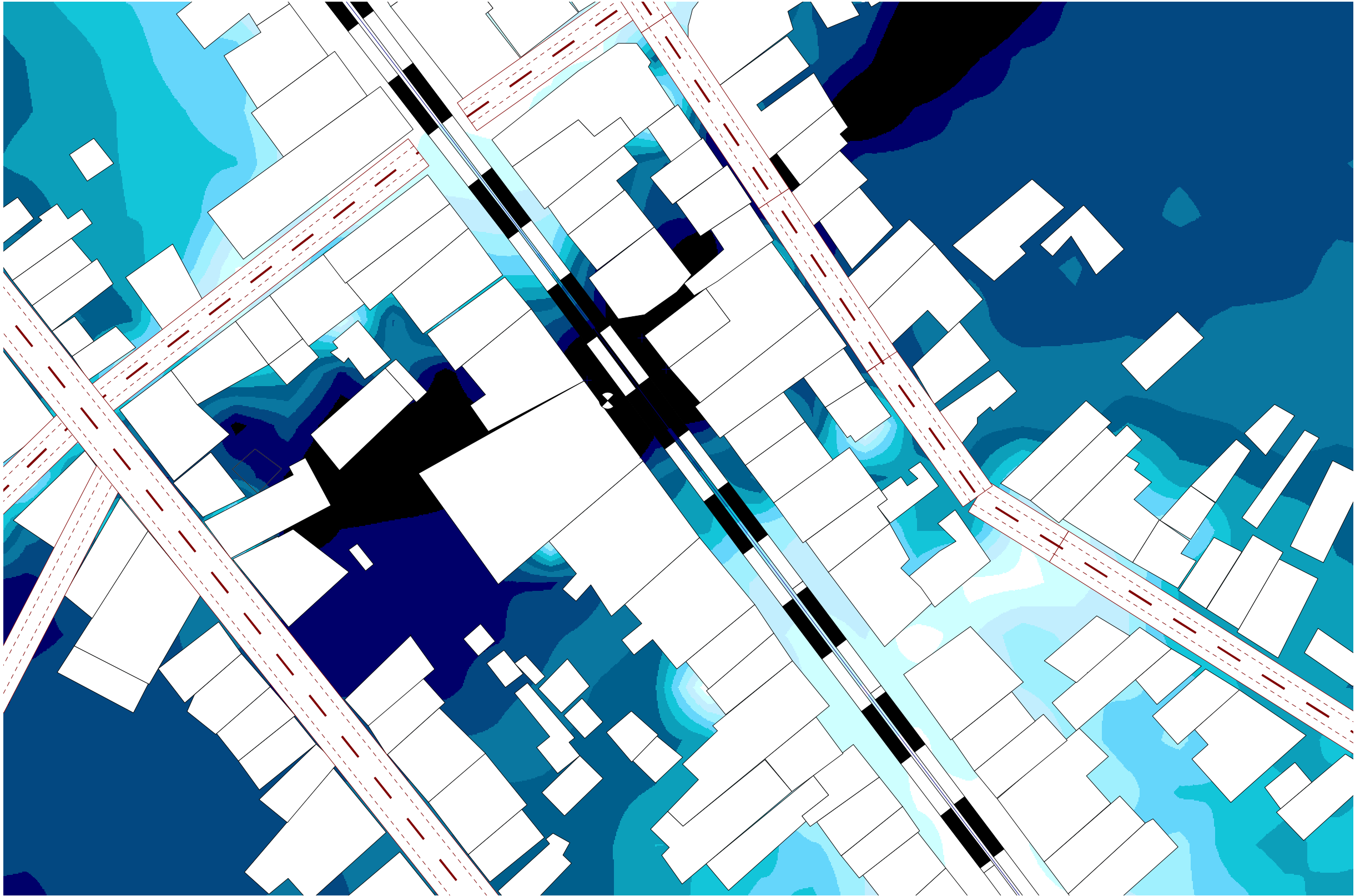
Orientador	Prof. Rui Calejo
Autor	João Almeida
Concelho	Matosinhos
Escala	1:800
ID	P3.RA



Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

Orientador	Prof. Rui Calejo
Autor	João Almeida
Concelho	Matosinhos
Escala	1:800
ID	P3.RA.FP



Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 1.0 dB(A)
- > 2.0 dB(A)
- > 3.0 dB(A)
- > 4.0 dB(A)
- > 5.0 dB(A)
- > 6.0 dB(A)
- > 7.0 dB(A)
- > 8.0 dB(A)
- > 9.0 dB(A)
- > 10.0 dB(A)
- > 11.0 dB(A)

Orientador	Prof. Rui Calejo
Autor	João Almeida
Concelho	Matosinhos
Escala	1:800
ID	P3 Dif.FPV

A2.4 – Ponto 4: 6 Mapas de Ruído



Classes de Ruído (LAeq)

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

Orientador Prof. Rui Calejo

Autor João Almeida

Concelho Matosinhos

Escala 1:550

ID P4.RA





Classes de Ruído (LAeq)

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

Orientador	Prof. Rui Calejo	<div><div>U.PORTO</div><div>FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA</div><div>UNIVERSIDADE DO PORTO</div></div> <div><div>núcleos investigação desenvolvimento</div><div>engenharia acústica</div></div> <div>NI&DEA</div>
Autor	João Almeida	
Concelho	Matosinhos	
Escala	1:550	
ID	P4.RA.M	



Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

Orientador Prof. Rui Calejo

Autor João Almeida

Concelho Matosinhos

Escala 1:550

ID P4.RA.M.FPV1



núcleos investigação desenvolvimento
engenharia acústica | NI&DEA



Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

Orientador Prof. Rui Calejo

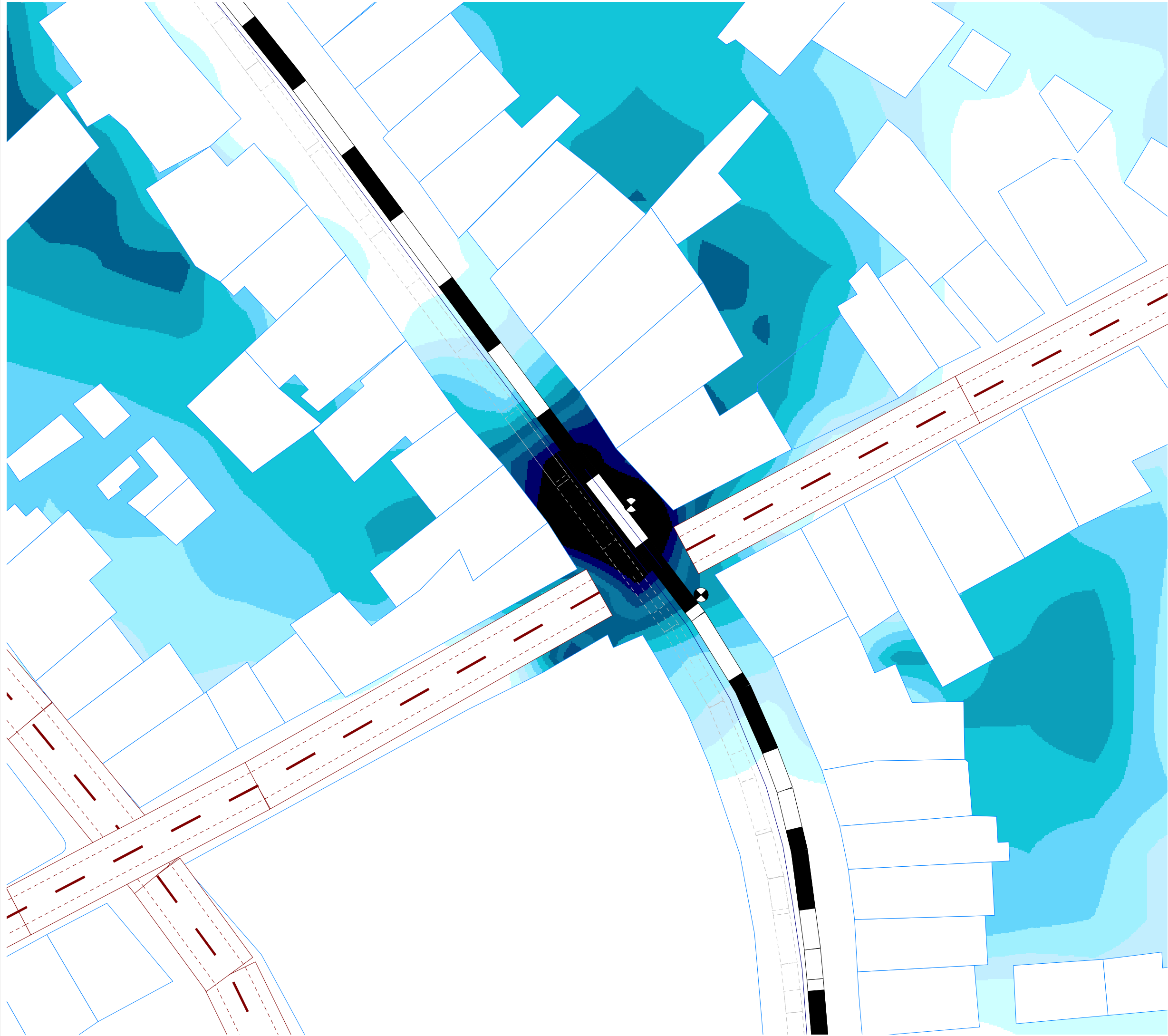
Autor João Almeida

Concelho Matosinhos

Escala 1:550

ID P4.RA.M.FPV2





Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 1.0 dB(A)
- > 2.0 dB(A)
- > 3.0 dB(A)
- > 4.0 dB(A)
- > 5.0 dB(A)
- > 6.0 dB(A)
- > 7.0 dB(A)
- > 8.0 dB(A)
- > 9.0 dB(A)
- > 10.0 dB(A)
- > 11.0 dB(A)

Orientador	Prof. Rui Calejo
Autor	João Almeida
Concelho	Matosinhos
Escala	1:550
ID	P4 Dif.FPV1



Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 1.0 dB(A)
- > 2.0 dB(A)
- > 3.0 dB(A)
- > 4.0 dB(A)
- > 5.0 dB(A)
- > 6.0 dB(A)
- > 7.0 dB(A)
- > 8.0 dB(A)
- > 9.0 dB(A)
- > 10.0 dB(A)
- > 11.0 dB(A)

Orientador Prof. Rui Calejo

Autor João Almeida

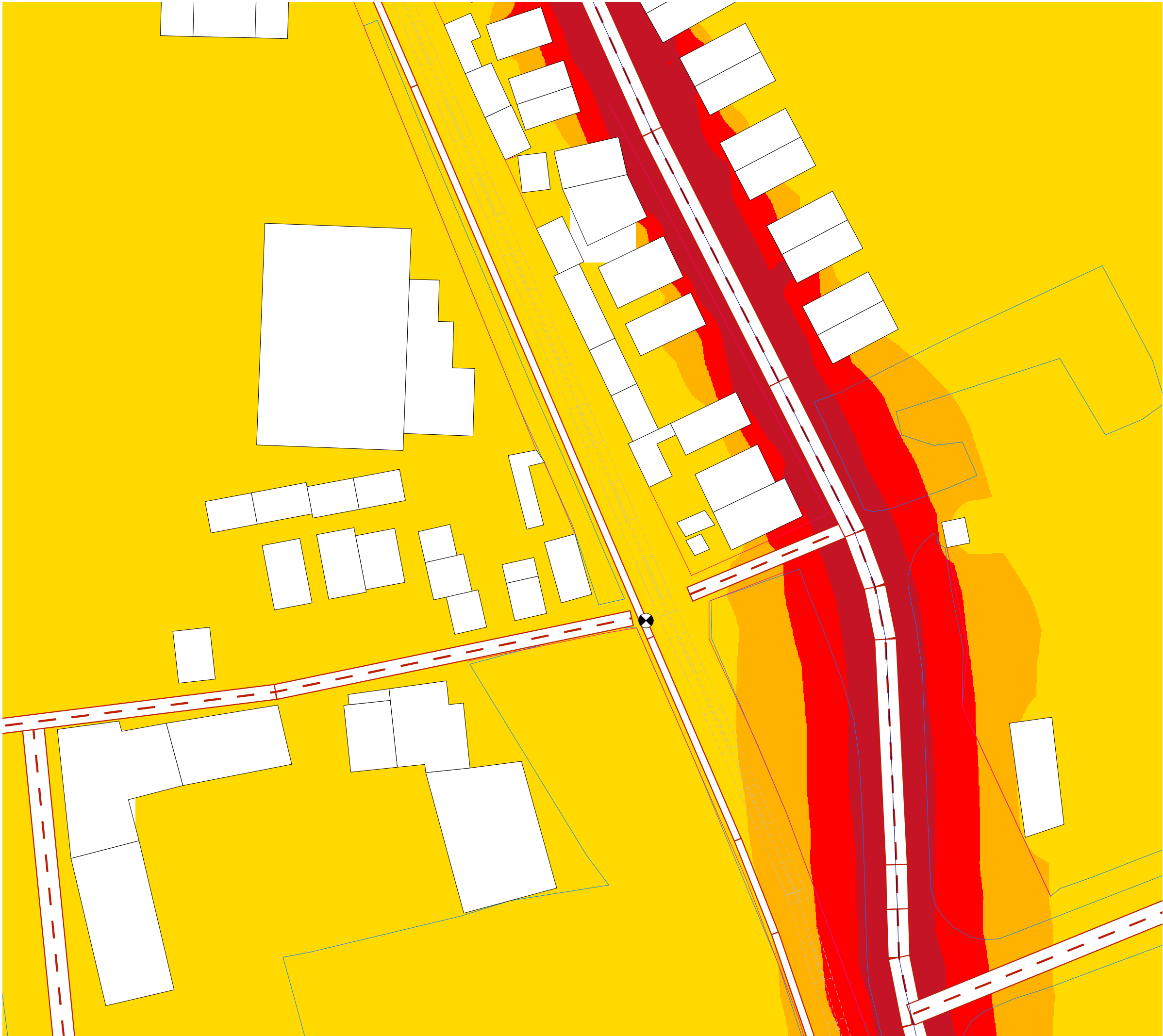
Concelho Matosinhos

Escala 1:550

ID P4 Dif.FPV2



A2.5 – Ponto 5: 3 Mapas de Ruído



Classes de Ruído (LAeq)

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

Orientador	Prof. Rui Calejo	<div><div>U.PORTO</div><div>FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA</div><div>UNIVERSIDADE DO PORTO</div></div> <div><div>núcleos investigação desenvolvimento</div><div>engenharia acústica</div></div> <div>NI&DEA</div>
Autor	João Almeida	
Concelho	Maia	
Escala	1:1100	
ID	P5.RA	



Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

Orientador	Prof. Rui Calejo	<div><div>U.PORTO</div><div>FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA</div><div>UNIVERSIDADE DO PORTO</div></div> <div><div>núcleos investigação desenvolvimento</div><div>engenharia acústica</div><div>NI&DEA</div></div>
Autor	João Almeida	
Concelho	Maia	
Escala	1:1100	
ID	P5.RA.FP	



Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 1.0 dB(A)
- > 2.0 dB(A)
- > 3.0 dB(A)
- > 4.0 dB(A)
- > 5.0 dB(A)
- > 6.0 dB(A)
- > 7.0 dB(A)
- > 8.0 dB(A)
- > 9.0 dB(A)
- > 10.0 dB(A)
- > 11.0 dB(A)

Orientador	Prof. Rui Calejo	<div><div>U.PORTO</div><div>FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA</div><div>UNIVERSIDADE DO PORTO</div></div> <div><div>núcleos investigação desenvolvimento</div><div>engenharia acústica</div><div>NI&DEA</div></div>
Autor	João Almeida	
Concelho	Maia	
Escala	1:1100	
ID	P5 Dif.FPV	

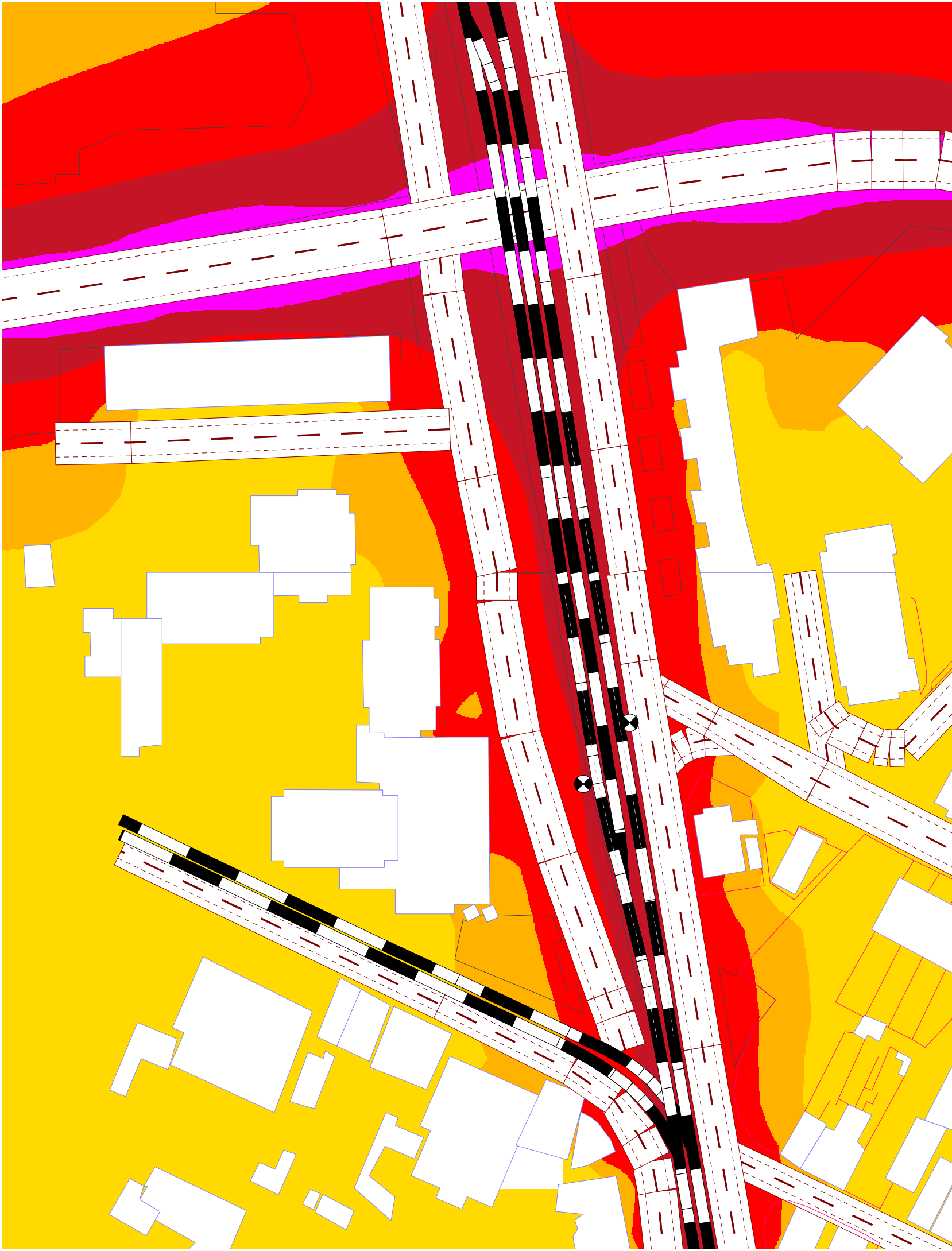
A2.6 – Ponto 6: 6 Mapas de Ruído



Classes de Ruído (L_{Aeq})

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

Orientador	Prof. Rui Calejo
Autor	João Almeida
Concelho	Matosinhos
Escala	1:1000
ID	P6.RA



Classes de Ruído (L_{Aeq})

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

Orientador	Prof. Rui Calejo
Autor	João Almeida
Concelho	Matosinhos
Escala	1:1000
ID	P6.RA.M



Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

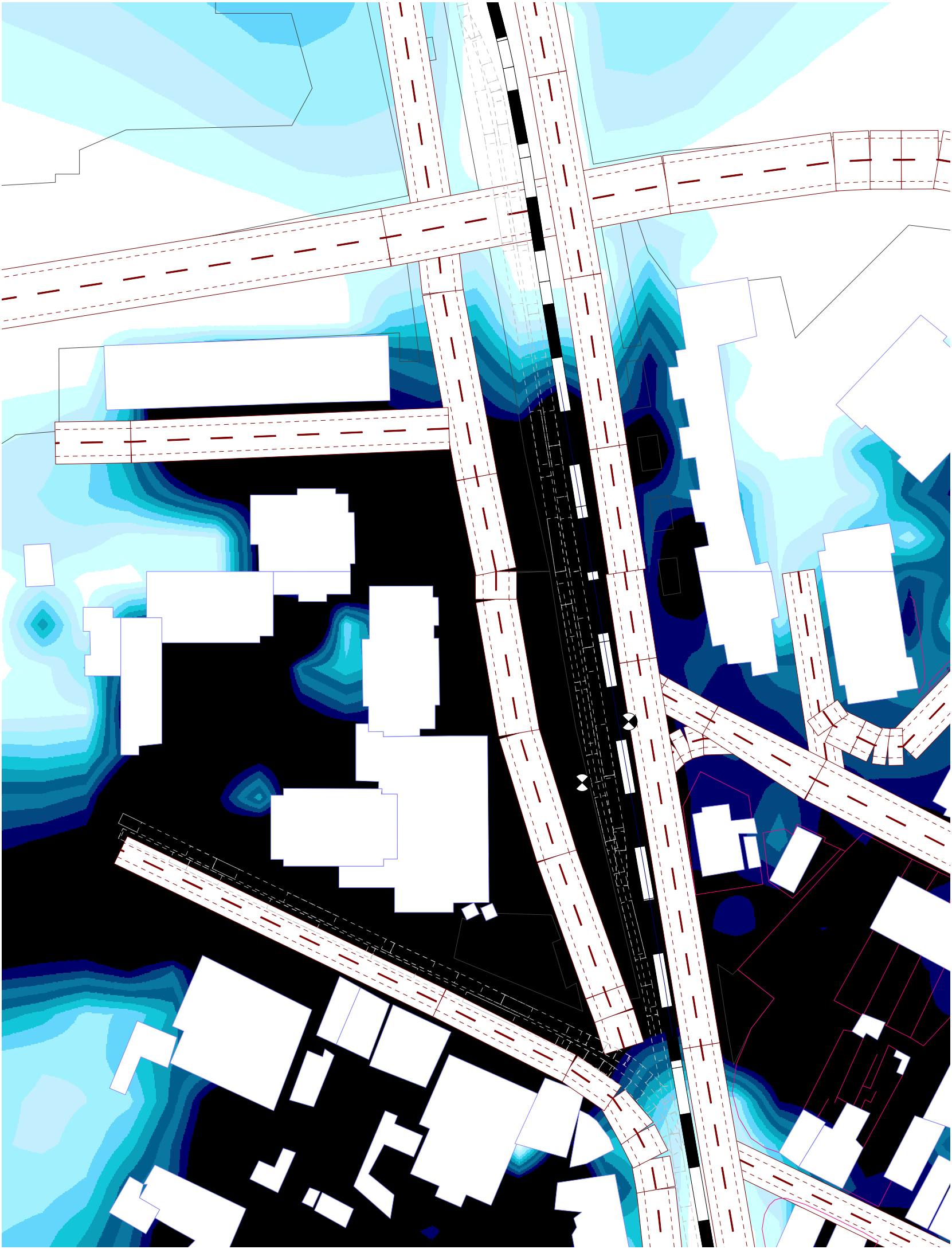
Orientador	Prof. Rui Calejo
Autor	João Almeida
Concelho	Matosinhos
Escala	1:1000
ID	P6.RA.M.FPV1



Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 55.0 dB(A)
- > 60.0 dB(A)
- > 65.0 dB(A)
- > 70.0 dB(A)
- > 75.0 dB(A)
- > 80.0 dB(A)

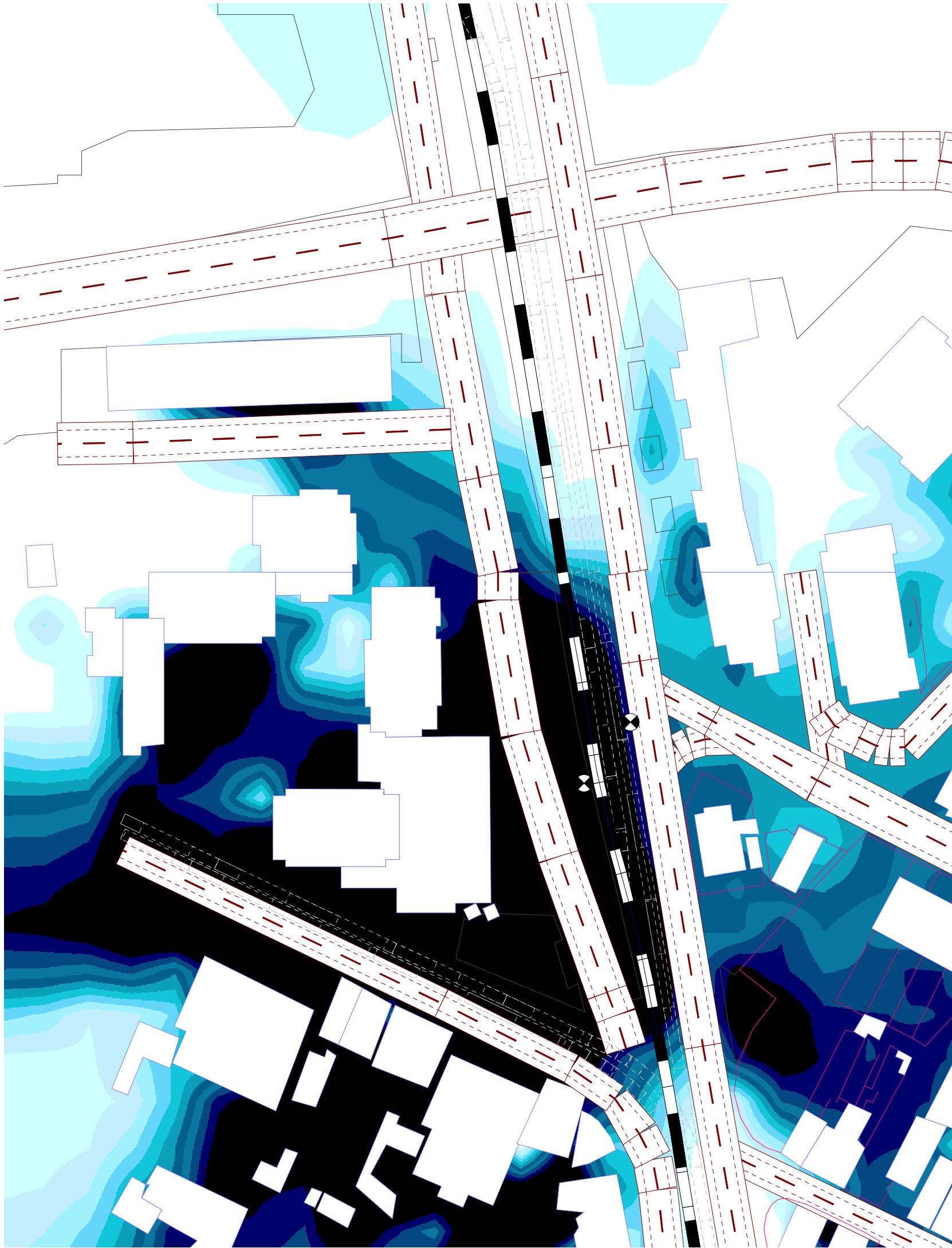
Orientador	Prof. Rui Calejo	<div>U.PORTO</div> <div>FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA</div> <div>UNIVERSIDADE DO PORTO</div> <div>núcleos investigação desenvolvimento NI&DEA</div> <div>engenharia acústica</div>
Autor	João Almeida	
Concelho	Matosinhos	
Escala	1:1000	
ID	P6.RA.M.FPV2	



Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 1.0 dB(A)
- > 2.0 dB(A)
- > 3.0 dB(A)
- > 4.0 dB(A)
- > 5.0 dB(A)
- > 6.0 dB(A)
- > 7.0 dB(A)
- > 8.0 dB(A)
- > 9.0 dB(A)
- > 10.0 dB(A)
- > 11.0 dB(A)

Orientador	Prof. Rui Calejo
Autor	João Almeida
Concelho	Matosinhos
Escala	1:1000
ID	P6 Dif.FPV1



Classes de Ruído (Lemerg)

- > 0.0 dB(A)
- > 1.0 dB(A)
- > 2.0 dB(A)
- > 3.0 dB(A)
- > 4.0 dB(A)
- > 5.0 dB(A)
- > 6.0 dB(A)
- > 7.0 dB(A)
- > 8.0 dB(A)
- > 9.0 dB(A)
- > 10.0 dB(A)
- > 11.0 dB(A)

Orientador	Prof. Rui Calejo
Autor	João Almeida
Concelho	Matosinhos
Escala	1:1000
ID	P6 Dif.FPV2